



**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS  
APLICADAS – FATECS**

**PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE  
LAJES *BUBBLEDECK* NA OBRA: Estudo de Caso**

**ALEXANDRE THIAGO PARCIANELLO**

**Matrícula: 2103214/6**

**Brasília  
2014**

**ALEXANDRE THIAGO PARCIANELLO**

**PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE  
LAJES *BUBBLEDECK* NA OBRA**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Jocinez Nogueira Lima

**Brasília  
2014**

**ALEXANDRE THIAGO PARCIANELLO**

**PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE  
LAJES *BUBBLEDECK* NA OBRA**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília

Orientador: Jocinez Nogueira Lima

Brasília, 01 de Agosto de 2014.

Banca Examinadora

---

Eng.º. Civil: Jocinez Nogueira Lima  
Orientador. Msc

---

Eng.º. Civil: Jorge António Cunha  
Examinador Interno, D.Sc

---

Prof. Paul Alejandro Antezana Ledezma  
Examinador Externo, Esp.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus familiares, que mostraram compreensão pelas horas abdicadas do convívio familiar durante a elaboração deste trabalho.

Em especial a minha namorada, companheira fiel nos bons e difíceis momentos. Aos meus filhos, é por eles que penso em um mundo melhor.

Aos meus pais, a quem devo tanto, e que tão pouco posso retribuir. E, aos meus irmãos, eles são a prova de que a 'união faz a força'.

Ao Professor Orientador Jocinez Nogueira Lima, pelas instruções e incentivos recebidos durante a confecção do trabalho.

## RESUMO

O trabalho apresenta o sistema *BubbleDeck* como alternativa inovadora às lajes de concreto tradicionais, apresentando inúmeras vantagens na sua utilização, dentre elas: redução de custos, tempos de construção mais baixos, reduzindo a energia gasta com a fabricação de cimento, ao longo de todo o processo. O objetivo é apresentar a laje *BubbleDeck*, comparando-a com as lajes de referência atuais (laje lisa, laje nervurada, lajes maciças de concreto armado, lajes treliçadas, e Lajes Cogumelos), ainda que em termos de comparação o estudo se limite a laje lisa. A questão problema do trabalho é a de identificar se a laje *BubbleDeck* se apresenta capaz de superar as lacunas de qualidade, custo e segurança das lajes tradicionais. Para tanto, o estudo apresenta os reais benefícios da implementação do sistema *BubbleDeck* nas obras, e usou como estudo de caso, a obra desenvolvida no Centro Administrativo do Distrito Federal. Portanto, o trabalho tem por metodologia, características de pesquisa de campo, descritiva e exploratória. A conclusão é que o sistema *BubbleDeck* é uma inovação do mercado de laje e que a engenharia civil terá a opção de construir com uma tecnologia mais econômica, e que propicia níveis de segurança e qualidade conforme as determinações da NBR 6118/2003.

**Palavras-Chave:** laje bidirecional de concreto, sistema *BubbleDeck*, redução de custos.

## ABSTRACT

This paper presents the *BubbleDeck* system as an alternative to the traditional biaxial concrete slabs, detailing several benefits in their use, such as: costs reduction, construction timesavings and lower energy consumption, decreasing its carbon footprint over the whole process. The aim of this paper is to present the *BubbleDeck* slab, comparing it to the more popular slabs (flat slab, ribbed slab, massive reinforced concrete slabs, lattice slabs and Mushrooms). The main question to be answered was if the *BubbleDeck* system is indeed the better solution considering the biaxial concrete slab in an office floor system, in terms of quality, costs and safety. The Centro Administrativo do Distrito Federal will be used as a case study to demonstrate and enumerate the several steps of the *BubbleDeck* technique. Therefore, the methodology used is of field research, descriptive and exploratory. The conclusion is that the *BubbleDeck* is an innovative system that can be applied to structures with biaxial concrete slab and this change will represent more economical and ecological solution, increasing the quality and safety of the project and in compliance with the regulations of ISO 6118/2003.

**Keywords:** Biaxial concrete slab, *BubbleDeck* , cost reduction

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de armadura, concreto e esferas plásticas .... Erro! Indicador não definido.	
Figura 2. Millennium Tower .....	16
Figura 3. Formas de polipropileno na laje nervurada .....	17
Figura 4. Laje nervurada desmoldada .....	17
Figura 5. Módulo básico de placa <i>BubbleDeck</i> , BD230 .....	21
Figura 6. Gráfico dos resultados comparativos – Cortante.....	23
Figura 7. Ruptura por cortante em uma laje maciça .....	24
Figura 8. Ruptura por cortante em uma laje <i>BubbleDeck</i> .....	24
Figura 9. Dimensionamento da Lajes Nervurada .....	27
Figura 10. Lajes Pré-Fabricadas: vigota e tavela.....	28
Figura 11. Dimensionamento de Lajes Pré-Fabricadas: vigota e tavela .....	29
Figura 12. Laje Maciça de concreto armado Cassino da Pampulha, Belo Horizonte (1940-1942), Oscar Niemeyer .....	31
Figura 13. Dimensionamento da laje maciça de concreto armado .....	32
Figura 14. Lajes Trelaçadas EPS – Isopor.....	33
Figura 15. Lajes Trelaçadas Cerâmica .....	34
Figura 16. Lajes Trelaçadas bi-direcional .....	35
Figura 17. Laje trelaçada .....	36
Figura 18. Lajes Cogumelos.....	37
Figura 19. Laje Lisa .....	37
Figura 20. Montagem Laje Lisa .....	38
Figura 21. Fábrica de pré-lajes.....	40
Figura 22. Layout do pátio de fabricação das pré-lajes.....	41
Figura 23. Armação das telas e treliças .....	43
Figura 24. Detalhe de procedimento de solda .....	43
Figura 25. Transporte da armação .....	44
Figura 26. Limpeza das formas .....	45
Figura 27. Ajuste de forma .....	45
Figura 28. Aplicação do desmoldante .....	46
Figura 29. Lançamento do concreto .....	47

<b>Figura 30. Remoção do excesso de concreto.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 31. Colocação dos espaçadores .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 32. Colocação da armadura .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 33. Posicionamento do sobrepeso .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 34. Cura úmida.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 35. Montagem do forçado .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 36. Peça “Flauta” .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 37. Trama montada para apoio das pré-lajes .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 38. Cimbramento para pré-lajes concluído .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 39. Escoramento do pavimento.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 40. Lançamento das pré-lajes com auxílio do guindaste.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 41. Posicionamento das peças sobre o cimbramento .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 42. Montagem das placas .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 43. Modo inadequado de montagem.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 44. Colocação da forma DIMIBU.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 45. Colocação da forma DIMIBU com guindaste aranha.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 46. Armaduras posicionadas com faces da forma e pilar travado.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 47. Montagem de forma de pilar com conferência de prumo .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 48. Montagem de forma da laje .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 49. Montagem da forma de laje finalizada .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 50. Marcação com giz dos locais dos estribos .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 51. Fixação dos estribos .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 52. Posicionamento das armaduras complementares .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 53. Slump test .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 54. Adensamento com vibradores durante a concretagem .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 55. Cura com Bidim realizada na laje.....</b>	<b>84</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1. Especificações Técnicas .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 2. Vãos usuais e sua carga permanente equivalente.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 3. Resultados Comparativos .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 4. Resultados Comparativos – Cortante .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 5. Resultados Comparativos – Cortante .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabela 6. Comparativo de volume de concreto e flechas máximas.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 7. Comparativo de taxas de armadura e esforços máximos .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 8. Laje BubbleDeck vs Laje Nervurada .....</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 9. Equipes na estrutura dos prédios .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabela 10. Equipe da fábrica .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabela 11. Custos incorridos, laje Nervurada.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 12. Custos incorridos, laje BubbleDeck.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 13. Dificuldades na fase de estudos.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 14. Dificuldades na fase de implantação .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabela 15. Ciclo de produção .....</b>	<b>60</b>

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	11
<b>1 A TECNOLOGIA <i>BUBBLEDECK</i> .....</b>	<b>14</b>
1.1 Compreensão Histórica .....	14
1.2 Conceitos de lajes <i>BubbleDeck</i> .....	18
1.3 Dimensionamento de lajes <i>BubbleDeck</i> .....	19
1.4 Relatório e testes de avaliação .....	22
<b>2 ESTUDO COMPARATIVO .....</b>	<b>25</b>
2.1 Modelos de lajes .....	25
2.1.1 Lajes Nervuradas .....	26
2.1.2 Lajes Pré-Fabricadas: vigota e tavela .....	28
2.1.3 Lajes maciças de concreto armado .....	31
2.1.4 Treliçadas .....	33
2.1.5 Lajes Lisas e Lajes Cogumelos .....	36
2.2 Laje <i>BubbleDeck</i> vs Laje Lisa .....	38
2.3 Pré-lajes <i>BubbleDeck</i> - Centro Administrativo do Distrito Federal .....	40
2.4 Fabricação de pré-lajes .....	41
2.4.1 Montagem da armação e concretagem das pré-lajes .....	42
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>51</b>
3.1 Tipo de Pesquisa .....	51
3.2 População da Pesquisa .....	52
3.3 Instrumento de Pesquisa .....	52

3.4	Procedimentos de Coleta de Dados .....	53
3.5	Análise dos Resultados .....	54
4	<b>ACOMPANHAMENTO E EXECUÇÃO DA OBRA DO NOVO CENTRO ADMINISTRATIVO DO DISTRITO FEDERAL</b> .....	55
4.1	Pesquisa para implantação de lajes <i>BubbleDeck</i> .....	55
4.2	Processo executivo.....	61
4.2.1	Escoramento/cimbramento.....	61
4.2.1.1	Montagem do Escoramento/Cimbramento .....	62
4.2.2	Montagem de pré-moldado (pré-laje <i>BubbleDeck</i> ) .....	67
4.2.3	Fabricação e montagem das formas .....	71
4.2.4	Montagem da armação.....	78
4.2.5	Concretagem de peça estrutural.....	81
4.2.5.1	Recebimento do concreto .....	81
4.2.5.2	Lançamento do concreto.....	82
4.2.5.3	Adensamento .....	83
4.2.5.4	Cura do concreto .....	84
4.2.5.5	Desforma.....	84
4.2.5.6	Junta de concretagem .....	85
4.2.5.7	Verificação e controle .....	85
	<b>CONCLUSÃO</b> .....	86
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	88
	<b>ANEXOS</b> .....	92

## INTRODUÇÃO

O impacto ambiental da construção civil e o seu desenvolvimento sustentável é algo que não pode e não deve ser menosprezado. A sua evolução é lenta (comparativamente com outras áreas de engenharia) mas não inexistente, e procura avançar, de uma forma segura, por meio da introdução de novos materiais, diferentes técnicas de construção ou de execução, que resultem numa forma mais eficiente de usar os recursos disponíveis, mas sem nunca aumentar o risco ou pôr em causa a segurança das edificações realizadas.

O sistema *BubbleDeck* apresenta-se como alternativa à laje de concreto tradicional e tem vindo a ser adotada por permitir redução de custos, tempos de construção mais baixos, reduzindo a energia gasta e emissão de CO<sub>2</sub>, ao longo de todo o processo.

O objetivo deste trabalho é apresentar a laje *BubbleDeck*, comparando-a com as lajes de referência atuais (laje lisa, laje nervurada, lajes maciças de concreto armado, lajes treliçadas, e Lajes Cogumelos), alcançando vantagens, tais como:

- Possibilidade de ser industrializada, diante da redução dos prazos de execução e custos indiretos;
- Baixo índice de retrabalhos;
- Redução do custo de obra, pois o consumo de concreto e aço diminui; tem alto potencial de isolamento termo-acústico (NBR 15.575);
- Não se utiliza vigas; vence vãos maiores do que a nervurada; eliminação de uso de madeira no assoalho;
- Minimiza mão de obra direta e indireta;
- Não requer a utilização de moldes;
- Sistema inédito no Brasil, porém em aplicação em diversos países da Europa (mais de 1 milhão de m<sup>2</sup> de lajes fabricadas em mais de 30 países);
- Baixo orçamento;
- Produto de excelente qualidade (GADELHA et al, 2009).

Pode ser usado em vãos acima de 6 metros (i.e. edificações residenciais, comerciais e industriais), no entanto, tratando-se de uma técnica recente e inovadora, é normal ocorrer uma resistência inicial, quer por parte da equipe de engenharia, quer por parte dos operários da obra.

A laje *BubbleDeck* embora tendo potencial para se transformar na laje de referência para futuras construções, carece atualmente de bibliografia e de construções em número suficiente para que possam ser usadas como modelo, permanece no meio, uma resistência ou mesmo desconhecimento por parte da engenharia que já estão acostumados aos modelos de lajes tradicionais. Nesse sentido, surge a questão problema do trabalho: a laje *BubbleDeck* se apresenta como último sistema capaz de superar as lacunas de qualidade, custo e segurança das lajes tradicionais?

No seguimento do indicado, pretende-se que este trabalho responda a tal questão, e possa apresentar-se como uma referência para futuros alunos que pretendam aprofundar o tema. Trata-se de uma técnica recente, que está em expansão e que no momento atual carece de bibliografia na língua portuguesa. Para o autor, o trabalho foi importante porque permitiu incorporar conhecimentos de uma técnica atual, representando uma vantagem competitiva para a entrada na vida profissional.

O estudo se propôs a apresentar os reais benefícios da implementação do sistema *BubbleDeck* nas obras, e usou como estudo de caso, a obra desenvolvida no Centro Administrativo do Distrito Federal. Tal informação é advinda da convivência do pesquisador na empresa, e de onde se formulou o problema de estudo. Diante do diagnóstico levantado e da percepção do problema apontado, definiu-se o tipo de estudo para melhor atingir os objetivos estipulados. Neste sentido, seguindo as orientações metodológicas de Gil (2008, p. 27) optou-se pelo estudo de caso, que permite a análise em profundidade e detalhamento de todos os aspectos ali estudados, no caso, a utilização do sistema *BubbleDeck* nas obras do Centro Administrativo do Distrito Federal, mas na ampla intenção de divulgar o material aos estudantes da área de engenharia civil, bem como os profissionais já da área. Portanto, o trabalho é um estudo de caso, que Gil (2008, p. 58) diz ser

caracterizado por ser um estudo “profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento. E Vergara (2004, p.48) cita que: “pesquisa de campo é investigação empírica realizada no local onde ocorre ou ocorreu um fenômeno ou que dispõe de elementos para explicá-lo”.

A pesquisa classifica-se também como descritiva, a qual tem como objetivo prioritário ampliar o nível de conhecimento quando da utilização do sistema *BubbleDeck* (GIL, 2008). Trivinos (1987) aponta que a pesquisa descritiva explora a realidade estudada, em suas características e problemas, para compreender os fenômenos de determinada realidade. A pesquisa tem ainda, característica de pesquisa exploratória, método que está atrelado ao levantamento bibliográfico. Segundo Boyd (1971), o método exploratório permite novas práticas e diretrizes para resolver problemas apontados. Corrobora nesse sentido, Mattar (1998) afirmando que a pesquisa exploratória leva o pesquisador a obter maior conhecimento a respeito do tema ou problema da pesquisa, por meio de características específicas.

De forma a alcançar os objetivos propostos, o trabalho foi dividido em três capítulos. No primeiro apresenta a tecnologia *BubbleDeck*”, iniciando sua abordagem pelo histórico e conceitos, além de relatar seu dimensionamento e testes de avaliação. O segundo capítulo tem a oportunidade de apresentar outros modelos de lajes, mas para que o leitor possa perceber as vantagens da tecnologia *BubbleDeck* é realizado um estudo comparativo com a laje lisa. O terceiro capítulo mostra o acompanhamento e execução da obra do Novo Centro Administrativo do Distrito Federal, onde se tem a oportunidade de ver a prática de todo o processo executivo do novo produto a ser conhecido na engenharia brasileira, a laje *BubbleDeck*.

E por assim ser, o trabalho não pode aqui se limitar, mas se torna fonte de inspiração a novos estudos, e em um futuro breve, é bastante Possível o uso normal e constante da tecnologia *BubbleDeck*.

# 1 A TECNOLOGIA *BUBBLEDECK*

## 1.1 Compreensão Histórica

O *BubbleDeck* é um sistema construtivo de origem dinamarquesa e é composto por esferas plásticas inseridas uniformemente entre duas armaduras e ocupam a zona de concreto que não desempenha função estrutural. Assim, pode-se reduzir entre 25% e 35% o peso próprio da laje, removendo com isso as restrições de cargas permanentes elevadas. A tecnologia *BubbleDeck* pode ser aplicada em estruturas que se possa utilizar uma laje maciça bidirecional, Ex.: edificações residenciais, comerciais e industriais.

O estudo da tecnologia *BubbleDeck* está em desenvolvimento no Brasil, porém, ainda não existem normas associadas a esta tecnologia. Com excelente eficiência estrutural, verificou-se que, a incorporação das esferas plásticas como formadoras de espaços vazios nesse sistema, permite pilares com intereixos 50% maiores. A combinação dessas esferas com o conceito de lajes cogumelo permite também o aumento dos vãos nas duas direções, a laje é conectada diretamente às colunas através de concreto *in-situ* sem nenhuma viga.

Esta tecnologia foi desenvolvida na década de 80, por meio de um concurso criado pelo governo dinamarquês que incentivava o uso de técnicas inovadoras, com soluções ecológicas e econômicas aplicáveis em larga escala nas lajes flexíveis. O engenheiro dinamarquês Jorgen Breuning apresentou a ideia de uma laje de concreto com vazios, introduzindo esferas plásticas onde o concreto na exerce função estrutural, sendo o concreto um material que não trabalha sob tensões à tração. As esferas fazem com que haja concreto onde realmente as tensões de compressão estão atuando, deixando vazios onde não à função estrutural do concreto e assim reduzindo significativamente o seu peso próprio.

A figura 1 apresenta o esquema de armadura, concreto e esferas plásticas.



**Figura 1. Esquema de armadura, concreto e esferas plásticas**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

A primeira obra com a tecnologia de lajes *BubbleDeck* foi realizada em Rotterdam na Holanda. O *Millennium Tower*, originalmente o projeto previa lajes ocas tubadas e antes do início das obras decidiu-se mudar para o novo conceito, lajes *BubbleDeck*. O que resultou, mesmo com a mudança perto do prazo de início da obra, em uma aceleração de 10 para 4 dias no ciclo de andares. Isto também significou uma redução de 50% dos pilares utilizados na obra e como a tecnologia não faz o uso de vigas houve uma redução no pé direito e assim reduzindo a altura total da obra, como consequência na metade da construção foi decidido aumentar mais dois andares ao projeto original.

Em 2000 a *Millennium Tower* (figura 2) foi finalizada, antes do prazo final previsto, com 35 andares e 130,8m era o segundo maior edifício da Holanda.





**Figura 2. Millennium Tower**

Fonte: Wikipédia, 2014.

No Brasil, a primeira obra a ser realizada com a tecnologia *BubbleDeck* foi o aumento da sede da empresa Odebrecht em Salvador, na Bahia, onde como em Rotterdam, a decisão de usar lajes *BubbleDeck* veio após a execução do projeto inicial. Obra que serviria como teste para a construção do novo Centro Administrativo do Distrito Federal, que em seu projeto original estava previsto a utilização do sistema de lajes nervuradas (figura 3 e 4), mas o sistema apresentou algumas barreiras para sua implantação. Devido à dimensão do empreendimento (178.000m<sup>2</sup>, sendo 160.000m<sup>2</sup> em laje pré-moldadas) e o curto prazo de execução (24 meses) precisava-se de um sistema com maior produtividade e consequentemente agilidade no processo de fabricação de lajes.



**Figura 3. Formas de polipropileno na laje nervurada**

Fonte: Catálogo Digital de Detalhamento da Construção, 2012.



**Figura 4. Laje nervurada desmoldada**

Fonte: Catálogo Digital de Detalhamento da Construção, 2012.

Por ser um processo artesanal, a laje nervurada exigiria maior demanda de mão-de-obra. O que entrava em conflito com o cenário em 2009 (mercado altamente aquecido com escassez de mão de obra qualificada) e, havia necessidade de um grande fornecimento de formas o que representava um risco de não

atendimento do fornecedor. Outro ponto desfavorável foi a incompatibilidade identificada com as premissas básicas do empreendimento que eram ambientes sem forros e com todas as instalações aparentes, isso não seria possível com este sistema.

Assim, buscou-se outra metodologia construtiva que melhor se enquadrasse as necessidades de projeto: Sistema BubbleDeck.

## 1.2 Conceitos de lajes *BubbleDeck*

*BubbleDeck* é um método desenvolvido para eliminação do volume de concreto de uma laje, com adição de esferas plásticas igualmente distribuídas entre telas de aço, formadoras de um vácuo em seu interior, retirando da laje, o concreto que não exerce função estrutural nenhuma e como resultado tem-se uma laje mais leve e resistente.

A incorporação destas esferas de plástico reciclado no interior das lajes, substituindo o concreto, resulta numa diminuição de cerca de 35% do volume de concreto, permitindo a construção de colunas com intereixos 50% maiores.

Vários aspectos positivos podem ser citados para a tecnologia *BubbleDeck*, de acordo com os representantes desta tecnologia no Brasil são:

- Liberdade nos projetos, layouts que facilmente se adaptam a layouts curvos e irregulares;
- Substituição de 60kg de concreto por 1kg de plástico reciclado retirados do meio ambiente;
- Tecnologia com selo verde, *Green Building*;
- Redução do peso próprio, 35% menor, permitindo redução nas fundações;
- Aumento dos intereixos das colunas, até 50% maiores que as estruturas tradicionais;
- Resistência ao fogo, em caso de incêndio as esferas carbonizam sem emitir gases tóxicos. Dependendo da cobertura a resistência ao fogo

pode variar de 60 a 180 minutos. (Verificações realizadas de acordo com a ISO 834);

- Eliminação de vigas, maior rapidez e economia pela eliminação de vigas e, execução mais barata e rápida de alvenarias e instalações;
- Eliminação das paredes de apoio, facilidade de metodologia construtiva;
- Aumento de vãos nas duas direções, conexão da laje diretamente aos pilares sem nenhuma viga através de concreto *in-situ*;
- Ambiente adequado, redução de energia e emissão de carbono devido à utilização de plástico reciclável, diminuindo o consumo de matérias primas.

### 1.3 Dimensionamento

*BubbleDeck* é usualmente dimensionada com métodos convencionais para lajes maciças, de acordo com a norma alemã DIN 1045 (2001) para construções em concreto armado. Além disso, a solução com lajes *BubbleDeck* também se encontra em normas de padronização como a norma britânica EN 13747 (2005).

A tecnologia *BubbleDeck* pode ser aplicada em qualquer estrutura que se possa utilizar uma laje maciça e apresenta uma solução de engenharia que melhora os projetos de construção e desempenho, com redução de custos da obra, de materiais e mão de obra. Não havendo a necessidade de vigas, número de pilares reduzidos e as instalações podem ser embutidas na laje e, pela característica da laje plana, proporciona ganho expressivo de pé direito.

Os diâmetros padronizados das esferas e alguns valores relacionados a cada diâmetro são apresentados na tabela 1. Dependendo do número de esferas projetadas por metro quadrado, tanto a capacidade de redução de carga quanto os intereixos das esferas podem variar.

**Tabela 1. Especificações Técnicas**

Diâmetro da Esfera [cm]	18,00	22,50	27,00	31,50	36,00	40,50	45,00
Mínimo Intereixos das Esferas [cm]	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00
Máximo Número de Esferas [1/m²]	25,00	16,00	11,11	8,16	6,25	4,94	4,00
Espessura Mínima da Laje [cm]	23,00	28,00	34,00	40,00	45,00	52,00	58,00
Redução de Carga por Esfera [KN]	0,08	0,15	0,26	0,41	0,61	0,87	1,19
Red. Máx. de Carga /m² [KN/m²]	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82	4,29	4,77
Fator para Rigidez [-]	0,88	0,87	0,87	0,88	0,87	0,88	0,88
Fator para Cortante [-]	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Fonte: *BubbleDeck* internacional, 2013.

Para escolha do tipo de laje *BubbleDeck* os vãos máximos geralmente são determinados pela limitação das flechas. Com razão entre o menor comprimento (L) do vão e a espessura (h) da laje (L/d), determinam-se os máximos vãos utilizados. Em seu manual o fabricante sugere para os diferentes tipos de vãos as seguintes razões de L/d:

- a)  $L/d \leq 30$  – vãos simples;
- b)  $L/d \leq 39$  – vãos contínuos;
- c)  $L/d \leq 10,5$  – balanço.

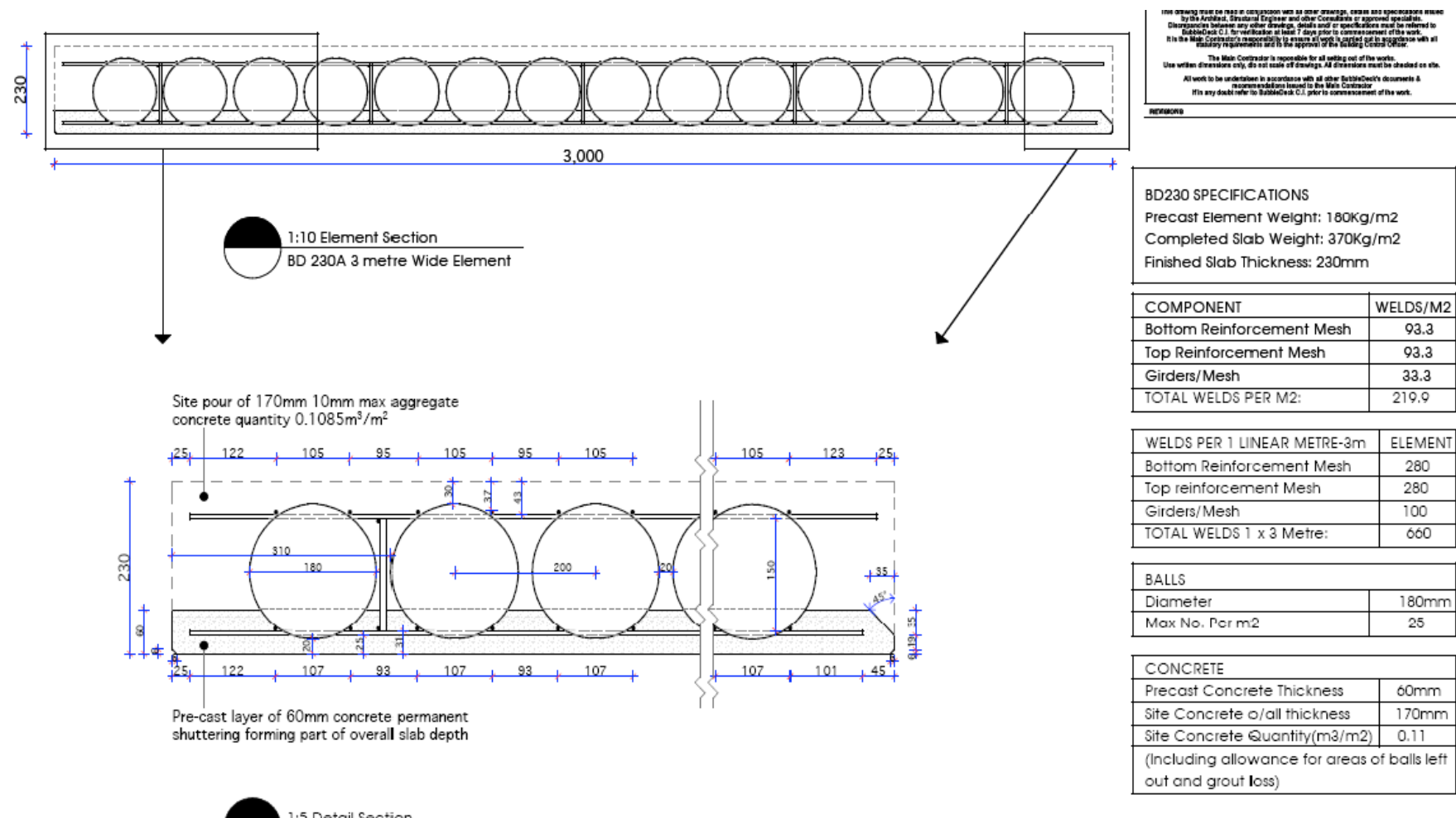
Também relacionado a vãos, a tabela 2 mostra a espessura padronizada das lajes *BubbleDeck* e sua carga permanente equivalente.

**Tabela 2. Vãos usuais e sua carga permanente equivalente.**

Tipo	Espessura da Laje	Diâmetro das Esferas	Vão	Carga (PP)	Concreto
	[mm]	[mm]	[m]	[Kg/m²]	[m³/m²]
BD230	230	Ø180	7 a 10	370	0,10
BD280	280	Ø225	8 a 12	460	0,14
BD340	340	Ø270	9 a 14	550	0,18
BD390	390	Ø315	10 a 16	640	0,20
BD450	450	Ø360	11 a 18	730	0,25

Fonte: *BubbleDeck* internacional, 2013.

Na figura 5, apresenta-se um modelo básico de uma placa *BubbleDeck* BD230.



**Figura 5. Módulo básico de placa *BubbleDeck*, BD230**

Fonte: *BubbleDeck* internacional, 2013.

## 1.4 Relatório e testes de avaliação

Na Alemanha, Holanda e Dinamarca, foram realizados testes onde a laje *BubbleDeck* apresentou as seguintes conclusões:

- As lajes *BubbleDeck* apresentaram melhor resistência ao corte do que se esperava. No processo de concretagem as esferas geraram um efeito positivo similar à adição de aditivos plastificantes;
- Em relação com outras lajes com vazios como a laje nervurada, os testes demonstraram uma melhor distribuição de tensões. Devido a sua estrutura tridimensional e gradual distribuição de forças os vazios devido às esferas não terão influências negativas nem causar perdas de capacidade de carga.

Os resultados obtidos para fatores redutores, utilizados para a capacidade cortante para lajes *BubbleDeck*, foram obtidos experimentalmente. A seguir, nas tabelas 3 a 5 e na figura 6 encontram-se os fatores redutores encontrados.

**Tabela 3. Resultados Comparativos**

Em % laje maciça	<i>BubbleDeck</i> vs. Laje maciça.		
	Mesma capacidade de carga	Mesma rigidez	Mesmo volume de concreto
Capacidade de carga	100	105	150
Rigidez	87	100	300
Volume de concreto	66	69	100

Fonte: *Technical University of Darmstadt/Germany*, 2014.

**Tabela 4. Resultados Comparativos – Cortante**

Capacidade de Corte (em % de laje maciça)	a/d = 2,15	a/d = 3.0
Laje Maciça	100	100
<i>BubbleDeck</i> , treliças soldadas	91	78(81) <sup>1</sup>
<i>BubbleDeck</i> , treliças amarradas	77	

Legenda:

<sup>1</sup> Correção para elementos de lajes com maior tempo de endurecimento

a – Distância da carga até ao apoio

d – Espessura

Fonte: *Eindhoven University of Technology. BubbleDeck internacional*, 2014.

**Tabela 5. Resultados Comparativos – Cortante**

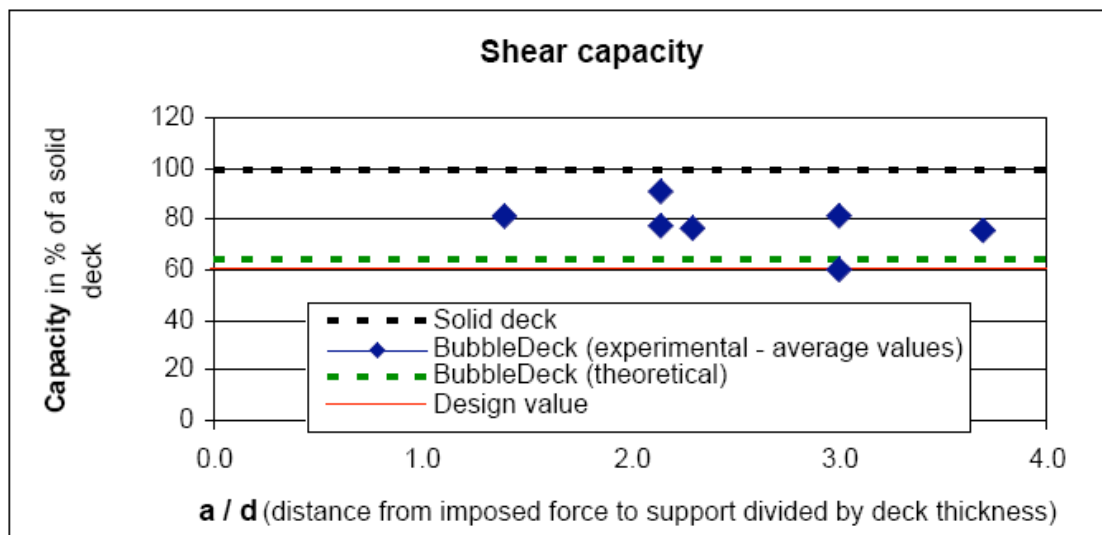
Capacidade de Corte (em % de laje maciça)	$a/d = 2,3$
Laje Maciça	100
<i>BubbleDeck</i> , sem treliças	76

Legenda:

- a – Distância da carga até ao apoio
- d – Espessura

Fonte: *The Engineering School in Horsens/Denmark, BubbleDeck internacional, 2014.*

Em relação a uma laje maciça, recomenda-se utilizar para a resistência ao esforço cortante um valor de 60%, como apresentado na Figura 6.

**Figura 6. Gráfico dos resultados comparativos – Cortante**

Fonte: *The Technical University of Denmark, BubbleDeck internacional, 2014.*

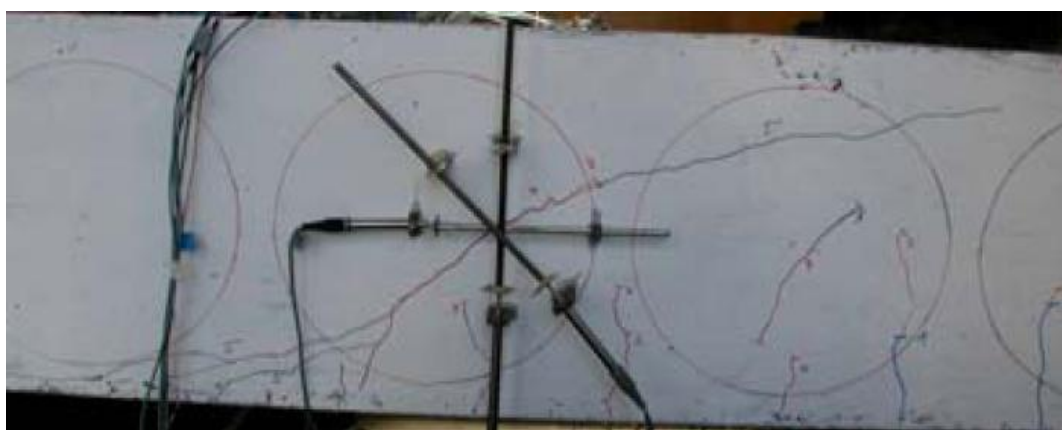
Foram realizados testes de ruptura em uma laje maciça (figura 7) e em uma laje *BubbleDeck* (figura 8), ambas as lajes tem mesma espessura, mesmas taxas de armadura e mesmo  $f_{ck}$  para o concreto.





**Figura 7. Ruptura por cortante em uma laje maciça**

Fonte: Investigations on the shear capacity of biaxial hollow slabs, 2011.



**Figura 8. Ruptura por cortante em uma laje *BubbleDeck***

Fonte: Investigations on the shear capacity of biaxial hollow slabs, 2011.

A indicação da localização das esferas no interior da laje esta apresentado na Figura 7. Nas duas Figuras, 6 e 7, observa-se a semelhança da superfície de ruptura e por ser uma laje com maior volume de concreto a laje maciça apresenta fissuras maiores.

## 2 ESTUDO COMPARATIVO

A seguir apresenta-se os modelos de lajes existentes atualmente e um estudo comparativo entre Lajes *BubbleDeck* e Lajes lisas.

### 2.1 Modelos de lajes

De acordo com Bastos (2013) as lajes são elementos planos bidimensionais, que são aqueles onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza, e são maiores que a terceira dimensão, a espessura. As lajes são também chamadas elementos de superfície, ou placas.

A norma define placas de concreto como sendo elementos de superfície plana sujeitos a ações normais a seu plano, recebendo cargas verticais em suas estruturas, e portanto, transmitindo para os respectivos apoios – vigas localizadas em seus bordos ou pilares (apoios pontuais). Essas placas de concreto são denominadas de lajes. A norma NBR 6118/2003 determina que as lajes que tenham  $\frac{1}{3}$  do vão devem ser estudadas como placas espessas (NBR-6118/2003).

Estas placas, então chamadas de lajes, destinam-se a receber a maior parte das ações aplicadas numa construção -, pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais outros tipos de cargas a depender da finalidade arquitetônica do espaço a que faz parte.

Existem diferentes tipos de lajes que são empregadas nas obras, e podem ser classificadas da seguinte forma: • Quanto a sua composição e forma; • Quanto ao tipo de apoio; • Quanto ao esquema de cálculo. Aqui importando descrever os modelos pela composição e forma: lajes nervuradas, lajes pré-fabricadas, lajes maciças de concreto armado, lajes treliçadas, Lajes Lisas e Lajes Cogumelos (MESQUITA FILHO, 2004).

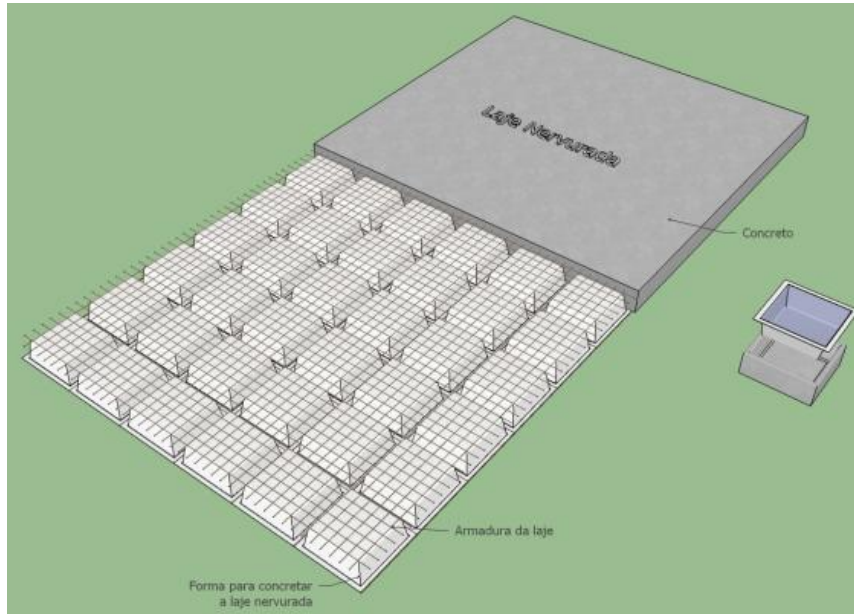
### 2.1.1 Lajes Nervuradas

Segundo a NBR 6118:2003, lajes nervuradas são "lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte." Vasconcelos (2012) explica que a laje nervurada "é constituída por um conjunto de vigas que se cruzam, solidarizadas pela mesa. Esse elemento estrutural tem comportamento intermediário entre o de laje maciça e o de grelha." Os tipos de lajes nervuradas são:

- Moldadas no local ou com molduras pré-fabricadas;
- Mesa única ou caixão perdido;
- Com ou sem capitéis e/ou vigas-faixa.

As lajes nervuradas (ver figura 4) surgiram em função dos aumentos dos vãos nas obras arquitetônicas, tornando as lajes maciças desfavoráveis frente aos custos das formas. Por possuírem espaços vazios ou possíveis de serem preenchidos por outros materiais leves, as lajes nervuradas permitiram uma maior economia de materiais, de mão-de-obra e de formas. A intenção do seu uso é simplificar a execução e permitir a industrialização, com redução de perdas e aumento da produtividade, racionalizando a construção e proporcionando economia (VASCONCELOS, 2012; ENGENHARIA CIVIL NA NET, 2014).

Outro fator que permite economia é o reaproveitamento das formas com sistema de escoras metálicas. As lajes nervuradas propiciam uma redução no peso da laje, e um melhor aproveitamento do aço e do concreto. Sua resistência à tração está nas nervuras, e os materiais de enchimento substituem o concreto. As lajes nervuradas são bastante utilizadas em edifícios de escritórios, escolas, supermercados, hospitais, dentre outras.



**Figura 9. Dimensionamento da Lajes Nervurada**

Fonte: Vasconcelos, 2012.

Sobre o dimensionamento das lajes nervuradas, Vasconcelos (2012) explica que:

No caso de não haver tubulações embutidas na laje, a espessura da mesa deve ser maior ou igual a  $1/15$  da distância entre as nervuras e nunca menor que 3 cm. Quando houver tubulações embutidas (de diâmetro máximo 12,5mm), a espessura da mesa deve ser de, no mínimo, 4 cm. A largura das nervuras não deve ser inferior a 5 cm e, quando houver armaduras de compressão, a largura das nervuras não deve ser inferior a 8 cm (VASCONCELOS, 2012).

Nos locais de maior tensão transversal, pode ocorrer ruína por punção ou por cisalhamento. Por fim, pode-se dizer que o uso da laje nervura é indicado para vencer grandes vãos.

### 2.1.2 Lajes Pré-Fabricadas: vigota e tavela

De acordo com o site Tijolaje (2014) lajes pré-fabricadas são aquelas que são usadas como reforço e suporte para as lajes. “Sua utilização dispensa a montagem de tablados de madeira para a concretagem. Com isso, o consumo de fôrmas é reduzido e passam a serem usadas apenas para o posicionamento das escoras”.

Vasconcelos (2012) explica que lajes pré-fabricadas são “aquelas cujas partes constituintes são fabricadas em larga escala por indústrias. Existem diversos tipos, sendo as mais usadas as lajes com vigotas treliçadas e as com vigotas de concreto armado” (VASCONCELOS, 2012). Sua vantagem está na dispensa do capeamento.



**Figura 10. Lajes Pré-Fabricadas: vigota e tavela**

Fonte: Tijolaje, 2014.

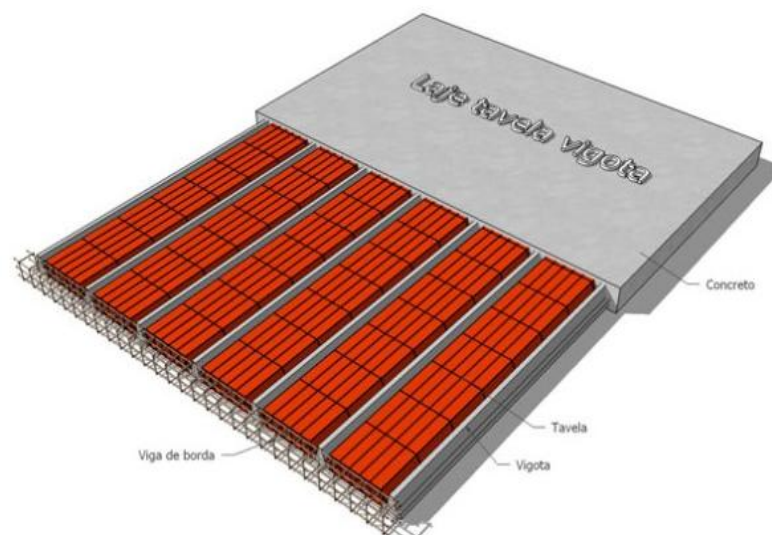
As vigotas de concreto armado têm formato de um “T” invertido, com armadura englobada pelo concreto da vigota. As vigotas treliçadas são constituídas por uma armadura em forma de treliça parcialmente englobada pelo concreto da vigota, cujo banzo inferior é envolto por uma placa de concreto estrutural, formando um conjunto pré-moldado de resistência e de fácil manuseio. Aí se forma a sapata

(CARVALHO et al., 2005). Em um segundo momento, em conjunto com o concreto, formarão as nervuras longitudinais da laje (VASCONCELOS, 2012).

Os elementos de enchimento são componentes pré-fabricados, podendo ser materiais maciços ou vazados, sendo mais comuns as telas de cerâmica ou de EPS. Carvalho et al. (2005) explica que entre as vantagens do uso da laje pré-fabricada destaca-se a possibilidade de se criar, sem dificuldade, lajes bidirecionais.

Elas são colocadas entre as vigotas, com a função de reduzir o volume de concreto e o peso próprio da laje (se comparada com a laje maciça), além de servir como fôrma para o concreto de capeamento. Possuem as faces inferior e superior planas e nas laterais, abas de encaixe para apoio, que devem ser compatíveis com as dimensões das vigotas para permitir o nivelamento da laje e evitar a fuga do concreto durante a concretagem (VASCONCELOS, 2012).

O concreto de capeamento tem natureza alcalina e por isso além de servir como proteção à armadura, também é elo de ligação entre a zona comprimida e a tracionada. A qualidade do concreto é fator muito importante para a resistência da laje (VASCONCELOS, 2012).



**Figura 11. Dimensionamento de Lajes Pré-Fabricadas: vigota e tabela**

Fonte: Vasconcelos, 2012.

Conforme explica Vasconcelos (2012) as vigotas em forma de “T” invertido deverão ter dimensões padronizadas, devendo a sua altura ser maior ou igual a 8 cm. As lajes pré-moldadas comuns conseguem preencher espaços de até 5 m entre os apoios. A vigota treliçada tem vergalhões soldados entre si formando

uma treliça, e sendo assim, esta laje consegue preencher espaços de até 12 m entre apoios.

Os blocos cerâmicos também têm dimensões padronizadas, com alturas de 7, 8, 10 e 12 cm, e largura de entreixo não superior a 50 cm (VASCONCELOS, 2012). O capeamento moldado no local da obra, deverá ser uniforme e ter espessura mínima de 4 cm para lajes de piso para absorver os esforços de compressão. Para lajes de forro o capeamento pode ter 3 cm. O concreto para confecção das vigotas e para o capeamento deverá ter um  $f_{ck} \geq 20 \text{ MPa}$ .

Na direção perpendicular às nervuras, será obrigatória a colocação de armadura complementar de distribuição de tensões e travamento das vigotas, posicionada na mesa de compressão sobre as vigotas, com área da seção transversal igual ou superior a  $0,6 \text{ cm}^2$  por metro de laje e composta de pelo menos três barras (CARVALHO et al, 2005).

“A treliça é obtida através da passagem de fios de aço CA60 em uma máquina que dá forma às diagonais e solda por fusão estes elementos aos banzos de forma automática” (CARVALHO et al., 2005).

O resultado é uma armadura treliçada pronta para a concretagem do elemento inferior de concreto (sapata), resultando em um produto mais leve e com maior ligação entre o concreto da pré-moldagem e o moldado no local (armadura transversal das diagonais da treliça). Durante a fase construtiva, é importante que a treliça esteja em um maior espaço para resistir aos esforços e concretagem, afim de ficar pronta para as escoras (CARVALHO et al., 2005).



### 2.1.3 Lajes maciças de concreto armado



**Figura 12. Laje Maciça de concreto armado Cassino da Pampulha, Belo Horizonte (1940-1942), Oscar Niemeyer**

Fonte: Vasconcelos, 2012.

Conforme explica Bastos (2013) as lajes maciças podem ser de Concreto Armado ou de Concreto Protendido. De acordo com Ishitani e França (2002), concreto protendido é aquele que, apesar de resistir bem a compressão, não resiste bem a tração (e em função disso, surgem as fissuras de flexão), e por isso são aplicados esforços de auto equilíbrios na estrutura, surgindo aí o termo protensão.

“Tecnicamente o concreto protendido é um tipo de concreto armado no qual a armadura ativa sofre um pré-alongamento, gerando um sistema auto-equilibrado de esforços - tração no aço e compressão no concreto” (ISHITANI e FRANÇA, 2002). Essa é a principal diferença entre o concreto armado e o protendido.

As lajes são elementos estruturais laminares planos, solicitados por cargas normais ao seu plano médio. Nas estruturas laminares planas, predominam duas dimensões, comprimento e largura, sobre a terceira que é a espessura. Normalmente as lajes são retangulares, mas podem ser também trapezoidal ou em L (VASCONCELOS, 2012).

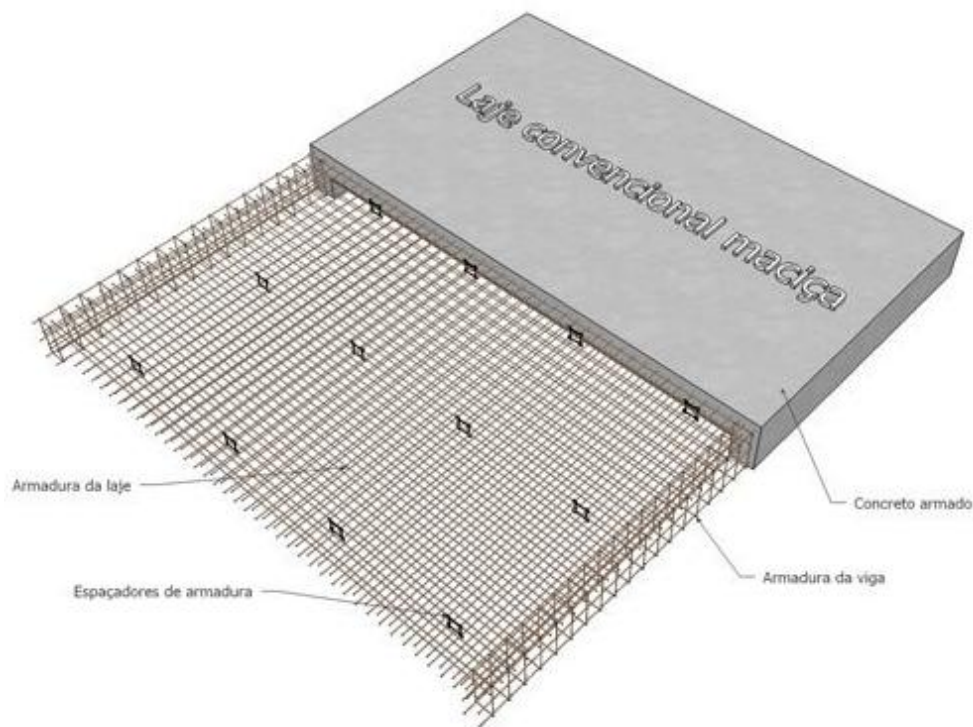
As lajes maciças de concreto tem espessuras que variam entre 7 cm e 15 cm e podem ser utilizadas nas pontes, em edifícios de múltiplos pavimentos, em muros de arrimo, escadas, reservatórios, construções de grande porte - escolas,



indústrias, hospitais, pontes de grandes vãos, etc. Não são muito usadas em construções de residências e outras de pequeno porte - para estas construções de pequeno porte as lajes indicadas são as lajes nervuradas e as pré-fabricadas, pois tem custos mais baixos e são mais fáceis de manusear nas construções (BASTOS, 2013). Nos edifícios usuais, as lajes maciças têm grande contribuição no consumo de concreto: aproximadamente 50% do total (VASCONCELOS, 2012).

Concreto é basicamente o resultado da mistura de cimento, água, pedra e areia, sendo que o cimento ao ser hidratado pela água, forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico.

De acordo com a NBR 6118:2003 nas lajes maciças de concreto armado devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura: 5 cm para lajes de cobertura não em balanço; 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço; 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN; 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN.



**Figura 13. Dimensionamento da laje maciça de concreto armado**

Fonte: Vasconcelos, 2012.

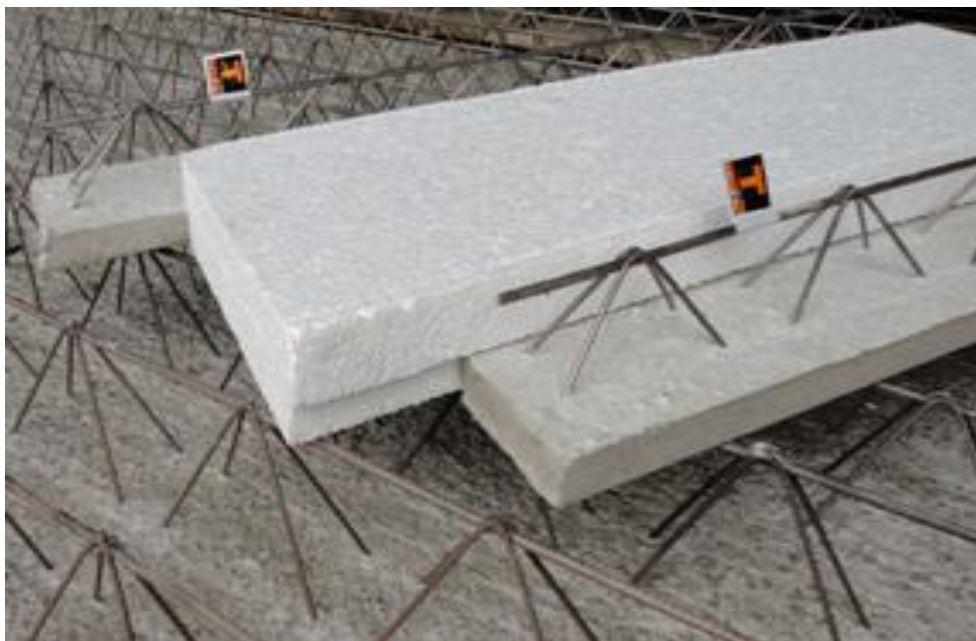
A espessura para lajes está associada ao tamanho dos vãos. Os vãos econômicos para lajes maciças de concreto armado ficam em torno de 4 a 7m,

resultando áreas de 15 a 20 m<sup>2</sup> (VASCONCELOS, 2012; DBR, 2014).

#### 2.1.4 Trelçadas

As lajes trelçadas foram desenvolvidas na Europa para superar algumas deficiências que outras lajes convencionais apresentam e também para competir com as lajes maciças no que diz respeito à relação custos x benefícios (OLIVEIRA, GARCIA, CORDEIRO, 2011). Elas podem ser encontradas em 3 tipos: lajes trelçadas:

- 1) Lajes Trelçadas EPS (Isopor): As lajes trelçadas EPS podem ser utilizadas em qualquer tipo de estrutura com a eficiência preenchendo vãos livres e suportar grandes cargas com altura relativamente baixa; permitem baixo consumo de concreto na obra;



**Figura 14. Lajes Trelçadas EPS – Isopor**

Fonte: Tijolaje, 2014.

O baixo consumo de concreto é em função de ser reduzido ou eliminado a utilização de vigas no sistema estrutural; para além disso, possibilita a distribuição de paredes sobre a laje.

- 2) Lajes Trelçadas Cerâmica: As lajes trelçadas cerâmicas podem ser utilizadas em qualquer tipo de estrutura com eficiência e preencher

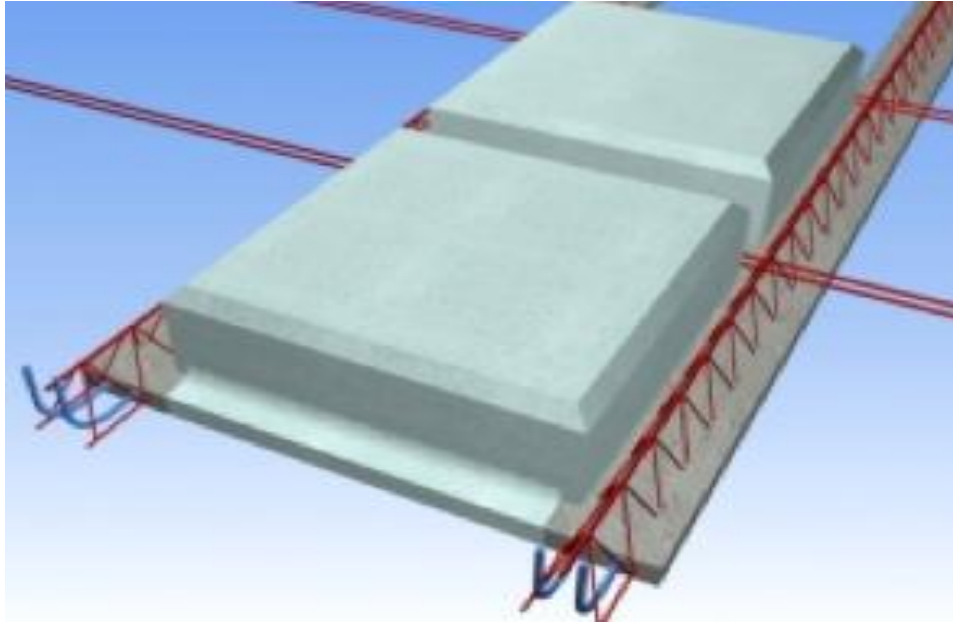
grandes vãos. Tem por característica suportar grandes cargas com altura relativamente baixa; tem baixo consumo de concreto na obra (SITE TIJOLAJE, 2014);



**Figura 15. Lajes Treliçadas Cerâmica**

Fonte: Tijolaje, 2014.

- 3) As lajes treliçadas bi-direcional EPS possuem altura relativamente baixa em relação à laje unidirecional por apresentar menores esforços em suas direções (SITE TIJOLAJE, 2014).



**Figura 16. Lajes Treliçadas bi-direcional**

Fonte: Tijolaje, 2014.

As lajes treliçadas bi-direcional podem ser utilizadas diretamente em estrutura de concreto armado e estrutura metálica (SITE TIJOLAJE, 2014).

Enfim, pode-se afirmar que o uso de lajes com preenchimentos (agregados) leves apresentam-se atualmente como um material com aplicação em diversas áreas da construção civil devido aos benefícios promovidos pela redução da massa específica, permitindo a redução de esforços nas estruturas e fundações (GAO; SUN; MORINO, 1997) e dos custos com transporte e montagem quando utilizado em construções pré-fabricadas (ROSSIGNOLO, 2005). Essa redução da massa estrutural permite também, a prevenção de riscos estruturais devido a ações dinâmicas (YASAR *et al.*, 2003).



**Figura 17. Laje treliçada**

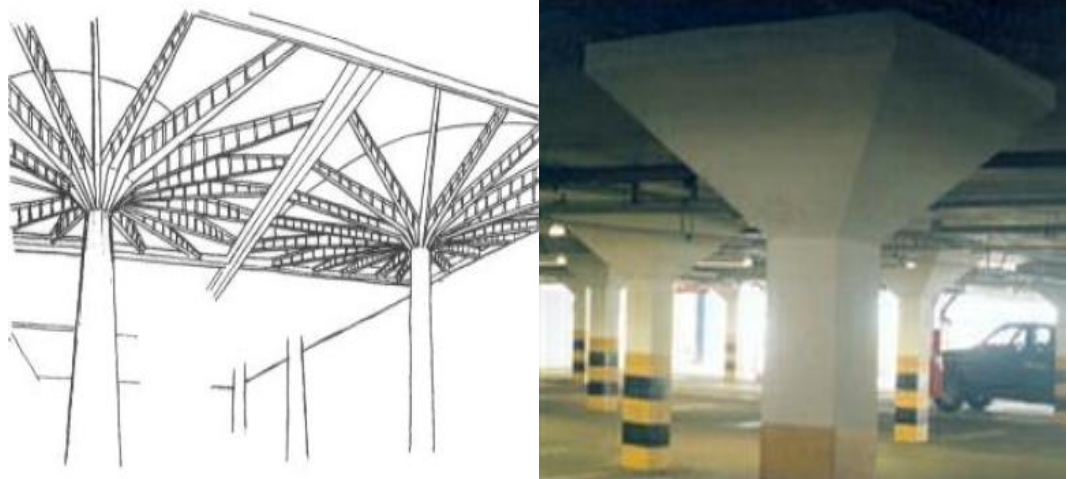
Fonte: Google Image, Vale do Selke, 2014.

Portanto, os estudos sobre a possibilidade de propriedades físicas e mecânicas dos concretos com agregados leves tem apontado vantagens técnicas em relação aos concretos com agregados convencionais (ROSSIGNOLO; AGNESINI; MORAIS, 2003; CHEN; LIU, 2005, 2008; LO; TANG; CUI, 2007; LOPEZ; KAHN; KURTIS, 2008; LIU; CHIA; ZHANG, 2011; SHANNAG, 2011).

### **2.1.5 Lajes Lisas e Lajes Cogumelos**

Lajes Cogumelos [ou pavimentos sem vigas] são estruturas constituídas por placas de concreto armado, isoladas ou não, apoiadas diretamente sobre pilares, no topo do quais podem existir capitéis ou não. Segundo Montoya, Meseguer e Cabre (2000) são consideradas lajes cogumelo as lajes contínuas apoiadas em pilares ou suportes de concreto.





**Figura 18. Lajes Cogumelos**

Fonte: Redetec, 2009.

Na evolução das lajes, ao perderem o uso desses pilares ou capitéis passam a ser denominadas de lajes lisas (*Flat plate* ou *Flachplatte*) (SITE DRB, 2014). Mello (2005) fala que a laje lisa sempre foi um anseio na construção civil por causa de suas vantagens: maior racionalização, melhor condição estética, rapidez na execução, pois simplifica diversas etapas - produção e montagem das fôrmas, confecção das armaduras, concretagem e execução das instalações.

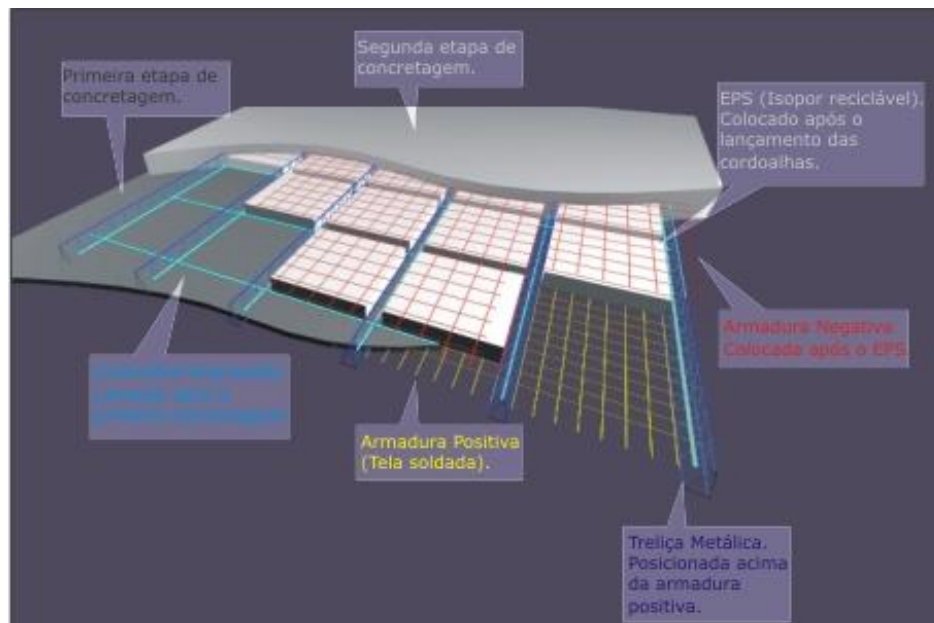


**Figura 19. Laje Lisa**

Fonte: Procalc, 2013.

Nos aspectos arquitetônicos as vantagens da laje lisa são: maior pé-

direito, presença de tetos lisos permitindo melhor definição dos espaços, maior esbeltez e melhores condições de ventilação e iluminação.



**Figura 20. Montagem Laje Lisa**

Fonte: Engeprot, 2003.

Conforme explica Schimdt (2009) a laje plana lisa é plana e realmente lisa, não se admitindo capitéis - *column heads*, nem tampouco engrossamentos da laje - *drops at column heads*.

Mello (2005) registra três problemas em trabalhar com lajes planas advindos da ausência das vigas: punção da laje pelo pilar, deslocamentos transversais excessivos das lajes e pequena rigidez às ações laterais.

## 2.2 Laje BubbleDeck vs Laje Lisa

O objetivo da comparação das taxas de concreto armado entre a laje *BubbleDeck* BD230 e as lajes lisas de 18cm e 23cm, é de realizar a melhor opção baseada em uma solução qualitativa, e portanto, mais adequada para as especificações de um projeto apresentado.

No que diz respeito ao volume de concreto, Silva (2011) explica que a laje *BubbleDeck* pode gerar uma economia de 18% em relação à laje lisa de 18cm, e de 32% com relação à laje lisa de 23cm. Na Tabela 6 encontram-se os comparativos de volume de concreto e flecha máxima.

**Tabela 6. Comparativo de volume de concreto e flechas máximas**

	Volume de concreto (m³)	Flecha máxima (cm)
<i>BubbleDeck</i>	10,08	2,22
Lisa 18cm	12,24	4,05
Lisa 23cm	14,72	2,84

Fonte: Silva, 2011.

Na tabela 7 é fornecido o comparativo de taxas de armadura e esforços máximos para cada tipo de laje, com os esforços dimensionantes entre parênteses.

**Tabela 7. Comparativo de taxas de armadura e esforços máximos**

	Armadura inferior do painel	Armadura superior entre painéis	Armadura superior sobre os pilares	Armadura de punção
Laje <i>BubbleDeck</i>	0,304% (55kN.m/m)	0,219% (41kN.m/m)	0,97% (160kN.m/m)	0,00% (715kN)
Laje lisa de 18cm	0,546% (56kN.m/m)	0,436% (43kN.m/m)	2,254% (170kN.m/m)	0,175% (754kN)
Laje Lisa de 23cm	0,427% (71kN.m/m)	0,341% (58kN.m/m)	1,366% (197kN.m/m)	0,146% (888kN)

Fonte: Silva, 2011.

A laje sob o sistema *BubbleDeck*, conforme verificado na tabela 7, pode resultar em um menor consumo de aço, menor consumo de concreto e menor flecha máxima. Diante desses resultados, é descartado o uso da laje lisa de 18cm. É importante salientar que além dos fatores econômicos, a *BubbleDeck* mostra-se de uso bastante simples em seu dimensionamento quando adaptado à norma brasileira e demonstra uma facilidade construtiva, havendo formas diferentes de execução para cada caso específico.

Ainda relacionado ao aspecto financeiro do empreendimento, o sistema *BubbleDeck* apresenta um custo menor ao final da obra, pois, com menos consumo



de material, transmitindo menos carga ao solo, precisará de fundações menores. Portanto, apesar de exigir um grau de sofisticação maior em sua execução, como mão-de-obra mais especializada, as lajes *BubbleDeck* mostraram-se vantajosas em praticamente todos os aspectos, tais como: economia de material, desempenho estrutural e conforto aos usuários (SILVA, 2011).

### 2.3 Pré-lajes *BubbleDeck* - Centro Administrativo do Distrito Federal

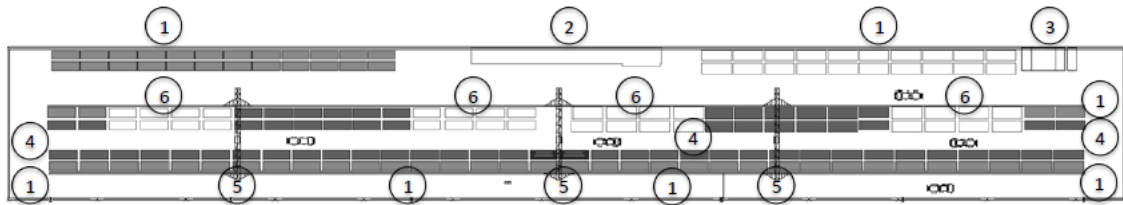
Como a tecnologia *BubbleDeck* não era difundida no Brasil, a Braskem em parceria com a CNO, desenvolveu uma esfera em polipropileno com um custo viável para o empreendimento e assim aumentando a demanda do polipropileno no mercado nacional. Dentro do canteiro de obras foi implantada uma fábrica de pré-moldados com a capacidade de produção e 1000m<sup>2</sup>/dia (figura 9) com isso foram capacitados projetistas de estruturas para realização dos projetos das pré-lajes.



**Figura 21. Fábrica de pré-lajes**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Na figura 10 encontra-se o *layout* do pátio de fabricação das pré-lajes onde a produção diária é de 50 lajes/dia (937,5m<sup>2</sup>/dia) e capacidade de estocagem de 400 peças.



**Figura 22. Layout do pátio de fabricação das pré-lajes**

Legenda:

- 1 – Estocagem, pilhas de 8 peças;
- 2 – Estoque de esferas;
- 3 – Administração;
- 4 – Fabricação
- 5 – Ponte rolante;
- 6 – Estoque de armaduras.

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

## 2.4 Fabricação de pré-lajes

A equipe para realizar a fabricação de pré-lajes é composta por: Encarregado, pedreiros, armadores, soldador, carpinteiros, montadores, operador de pórtico e ajudantes de produção.

As responsabilidades são da empresa subcontratada (especializada): Responsável pela execução dos serviços em conformidade com as especificações de projeto. Auxiliar Técnico da Qualidade/Inspetor da Qualidade: Responsável pelas inspeções do serviço e preenchimento da Tabela de Inspeção de Serviços. Responsável Sustentabilidade: Responsável por verificar, em conjunto com os responsáveis pela execução deste processo, o cumprimento dos requisitos de Sustentabilidade contidos nos documentos específicos.

Os materiais utilizados são: desmoldante, formas metálicas, formas de madeira, barras de aço, concreto, espaçadores, *inserts* metálicos, madeirite, Sarrafo de madeira ou barrote, prego, escora (se necessário), tela soldada, treliça, eletrodo, disco de corte, esfera plástica tipo *BubbleDeck*, linha de nylon, Espátula, lixa manual/palha de aço, escova de aço manual e escova de aço rotativo.

As ferramentas utilizadas são: Mangueira, trena metálica, desempenadeira de metálica, madeira ou plástica; colher de pedreiro, chave de boca, esquadro metálico, nível de mangueira, de bolha ou nível a laser; Prumo de face e centro, martelo, serrote, tensores (se necessário), broxa, tesoura cortar Vergalhão e Rastelo.

Os equipamentos utilizados são: Caminhão *munck*, pórtico rolante, vibradores de imersão (caso necessário), central dosadora de concreto, caminhão betoneira, compressor (de aproximadamente 120 p.c.m), pulverizador costal, máquina de solda, gerador, iluminação adequada para trabalhos noturnos, lixadeira, Serra circular de bancada com coifa de proteção do disco (caso necessário), serra circular manual.

EPI's e EPC's necessários: Capacete com jugular, bota de segurança, protetor solar, uniforme, protetor auricular, óculos de segurança, máscara de solda, avental de raspa, luva de raspa cano longo, perneira de raspa, luva de PVC (lançamento de concreto), avental de PVC (lançamento de concreto), Calça Impermeável de PVC, sinalização e extintor de Incêndio.

#### *2.4.1 Montagem da armação e concretagem das pré-lajes*

- a) Identificar a laje a ser produzida, conforme projeto, verificando seu tipo e suas dimensões.
- b) Posicionar a tela inferior em uma bancada para início da fabricação. Em seguida, posicionar as treliças espaçadas conforme projeto e soldá-las fixando-as na tela inferior (figura 23).



**Figura 23. Armação das telas e treliças**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

- a) Posicionar as esferas plásticas preenchendo os espaços entre as treliças (respeitando o limite mínimo de distância entre as esferas).
- b) Posicionar a tela superior e executar a solda de ponteamento<sup>2</sup> na parte superior da treliça formando uma gaiola (figura 24).



**Figura 24. Detalhe de procedimento de solda**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Notas:

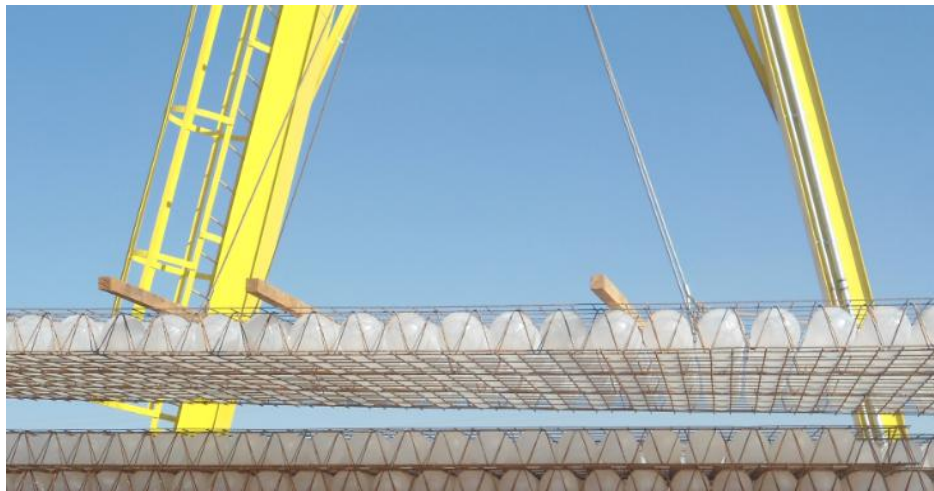
1. As soldas mencionadas não possuem fins estruturais, desta forma não é exigido do subcontratado a apresentação da EPS, RQPS e Qualificação do soldador. Este fato não exime a necessidade dos controles mínimos das soldas de



ponteamento (inspeção visual, armazenamento adequado dos eletrodos e qualificação básica do soldador).

2. A armação dos pré-moldados deve ser montada conforme o projeto executivo de armação (anexos I e II), considerando as bitolas, dimensões, posições e quantidades de aço indicadas no mesmo, bem como atender o planejamento de execução pré-definido para obra.

Depois de concluída e conferida à montagem das armações, conforme projeto, as mesmas devem ser depositadas, com utilização de pórtico, em área definida previamente, a fim de serem utilizadas posteriormente na fabricação dos pré- moldados (figura 25).



**Figura 25. Transporte da armação**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Após o processo de desforma, as formas devem ser limpas através da utilização de lixa apropriada ou palha de aço para retirada dos resíduos de concreto. Posteriormente deve-se utilizar um pano para remover poeiras e resíduos menores que não foram retirados da forma no primeiro processo de limpeza (Figura 26).



**Figura 26. Limpeza das formas**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Após as formas serem devidamente limpas inicia-se o processo de ajustes das formas. Realizar ajustes nas formas de maneira a garantir as dimensões especificadas em projeto, além de nível e esquadro das peças (figura 27).

Efetuar travamento das laterais, conferir borracha de canto, posicionar e fixar os *blockouts* e *inserts*, conforme definido em projeto.



**Figura 27. Ajuste de forma**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Ajustadas as formas, as mesmas devem receber uma fina película de desmoldante líquido aplicado com pulverizador (Figura 28).

O desmoldante possui as funções de facilitar a retirada da forma da peça pré-moldada de concreto, evitando avarias, além de proteger a forma metálica dos resíduos de concreto.



**Figura 28. Aplicação do desmoldante**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Após a verificação da conformidade das etapas anteriores, o inspetor da qualidade informa o código de liberação da peça para concretagem ao encarregado/engenheiro responsável que poderá solicitar o fornecimento de concreto à central de concreto.

Antes do lançamento do concreto nas formas destinadas a produção de pré-moldados, devem ser realizados ensaios de verificação de abatimento e ou espalhamento do tronco de cone e moldagem de corpos de prova. Se o concreto atender as especificações quanto ao abatimento e for liberado pela equipe do laboratório, o mesmo deverá ser lançado nas formas. Deve-se espalhar todo o concreto sobre a superfície até o preenchimento total sem exceder limite da borda da forma (Figuras 29 e 30).

Na sequência da concretagem deve ser realizada a limpeza das bordas, laterais e pisos no entorno, para manter a integridade da forma, otimizar o processo de limpeza pós concretagem e manter o ambiente de trabalho limpo.



**Figura 29. Lançamento do concreto**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.



**Figura 30. Remoção do excesso de concreto**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Posicionar os espaçadores sob o concreto lançado, garantindo que a armadura inferior respeite o recobrimento exigido em projeto (Figura 31).

Os espaçadores têm como finalidade garantir o cobrimento da armadura especificado em projeto (anexo III).





**Figura 31. Colocação dos espaçadores**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Posicionar a armadura, com o auxílio do pórtico, sobre a forma já preenchida com concreto inserindo-a no mesmo (Figura 32).



**Figura 32. Colocação da armadura**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Posicionar vigas de concreto pré-moldadas sobre a armadura funcionando como sobrepesos, visando impedir a flutuação da grade (Figura 33).

Atentar-se para o descrito no Anexo III – Colocação dos espaçadores dos painéis BD.



**Figura 33. Posicionamento do sobrepeso**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Não é necessário vibrar, pois o concreto utilizado é auto adensável. Porém, a fim de evitar possíveis patologias (nichos, bolhas e fissuras), convém realizar uma leve vibração em pontos estratégicos nesta etapa.

A cura é feita após a conclusão da concretagem e é realizada a cura úmida nas peças concretadas, que deve perdurar ininterruptamente por, pelo menos, 24 horas (figura 34).



**Figura 34. Cura úmida**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Em idade superiores à 20 horas são rompidos os corpos de prova moldados até obter-se resistência igual ou superior ao  $F_{ck}$  mínimo estabelecido em projeto (12MPa), para poder transportar.

Somente após atingir ao  $F_{ck}$  mínimo que a peça é liberada para desforma.

Se os corpos de prova não atingirem a resistência mínima definida em projeto, o pré-moldado não poderá ser desformado.

O içamento dos pré-moldados deve ocorrer com a instalação dos cabos nos pontos de içamento no local pré-definido em projeto, indicados em amarelo e com a utilização de pórticos ou caminhão guindauto que garanta a estabilidade do conjunto pré-moldado/equipamento assegurando um transporte seguro e sem danos materiais e ou físicos.

O depósito dos pré-moldados no pátio deve atender a logística pré-definida pelo gestor da fábrica.

Estocar as peças em local plano, compactado e distantes da crista de talude sobre pontaletes de madeiras com espaçamento necessário para manter a integridade da peça.

Para as peças sobrepostas manter os pontaletes na mesma direção e alinhamento da peça abaixo.

O atendimento a posição é de fundamental importância para que o elemento pré-moldado não apresente movimentações físicas diferentes do que apresentará após o assentamento definitivo.

O número máximo de placas por empilhamento é de 8 placas e é necessário reservar um local adequado para estocagem das mesmas.

Tolerâncias:

- Comprimento
  - $L < 5m$ :  $\pm 10mm$
  - $5m < L < 10m$ :  $\pm 15mm$
  - $L > 10m$ :  $\pm 20mm$

- Espessura
  - 5mm, + 10mm
- Planicidade
  - $L \leq 5m$ :  $\pm 3mm$
  - $L > 5m$ :  $\pm L/1000$
- Distorção
  - Largura ou altura  $\leq 1m$ :  $\pm 3mm$  cada 30cm
  - Largura ou altura  $> 1m$ :  $\pm 10mm$
- Linearidade
  - $\pm L/1000$

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

A investigação científica tem por metodologia dois critérios: quanto aos fins: exploratória, descritiva, explicativa, aplainada e intervencionista; e quanto aos meios: pesquisa de campo e/ou laboratório, documental, bibliográfica, experimental, *ex post facto*, participante, pesquisa-ação e estudo de caso (VERGARA, 2004, p. 46). O método descritivo, segundo Mattar (1998, p. 66), tem o objetivo de proporcionar informações sumarizadas dos dados contidos no tal de elementos das amostras estudadas.

A pesquisa ora formulada nasceu do acompanhamento da Obra do Novo Centro Administrativo do Distrito Federal, o que permitiu uma visão interna problema. Assim, é que se iniciou um levantamento das principais atividades por meio da observação participante para identificação e definição do problema. Para apontar a solução do problema então definido, buscou-se pelas seguintes metodologias:

É pesquisa de campo porque é investigação empírica realizada em local “onde ocorre ou ocorreu um fenômeno ou que dispõe de elementos para explicá-lo” (VERGARA, 2004, p. 48). É pesquisa bibliográfica porque se trata de estudo desenvolvido com base em material publicado e de acesso em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas. É pesquisa descritiva porque o trabalho tem como objetivo

prioritário ampliar o nível de conhecimento quando da utilização do sistema *BubbleDeck* (GIL, 2008). Trivinos (1987) aponta que a pesquisa descritiva explora a realidade estudada, em suas características e problemas, para compreender os fenômenos de determinada realidade. O trabalho é estudo de caso por se tratar de análise em profundidade e detalhada de todos os aspectos que dizem respeito à utilização do sistema *BubbleDeck* nas obras do Centro Administrativo do Distrito Federal, mas na ampla intenção de divulgar o material aos estudantes da área de engenharia civil, bem como os profissionais já da área. Explica-se que é estudo de caso porque se caracteriza em ser um estudo “profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento” (GIL, 2008, p. 58).

Quanto aos fins, pesquisa de investigação exploratória porque busca apresentar um conceito de forma inovadora para a construção civil de forma científica. Implicando também na investigação por ser uma “pesquisa realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado”, é aplicada como “pesquisa fundamentalmente motivada pela necessidade de resolver problemas concretos, mais imediatos, ou não” (VERGARA, 2004, p.47).

### **3.2 População da Pesquisa**

O universo da pesquisa diz respeito à população, que segundo Vergara (2004, p. 50) “refere-se a um conjunto de elementos que possuem as características que serão objeto de estudo”. Segundo Richardson (1999, p. 157), usualmente, fala-se de população ao se referir a um conjunto de indivíduos que trabalham em um mesmo lugar.

### **3.3 Instrumento de Pesquisa**

Conforme coloca Richardson (1999, p. 89) no planejamento da pesquisa, o momento da observação pode contribuir para delimitar o problema estudado e a

informação necessária. Neste sentido o trabalho faz uso da observação participante, sem contudo fundamentar sob características subjetivas.

Segundo Mattar (1998, p. 63) o objetivo principal das análises é permitir, ao pesquisador, o estabelecimento das conclusões, a partir das informações observadas. E que a qualidade de uma pesquisa está diretamente relacionada ao equilíbrio da qualidade entre suas diversas etapas; por isso, todas as fases de montagem do trabalho são igualmente importantes.

### **3.4 Procedimentos de Coleta de Dados**

Por meio ainda da observação participante foi possível realizar um diagnóstico dos principais pontos a serem abordados na pesquisa, direcionando portanto, a pesquisa bibliográfica que foi realizada. Em seguida fez-se análise qualitativa dos principais fatores apontados no decorrer do trabalho.

Em sentido genérico, conforme explica Barral (2003, p. 27), método em pesquisa significa a escolha de procedimentos sistemáticos para a descrição e explicação de fenômenos. Assim, os procedimentos seguidos permitiram a melhor abordagem do problema a ser resolvido com os parâmetros e justificativas realizadas no trabalho.

A análise qualitativa é opção do investigador, e justifica-se, sobretudo, por ser uma forma adequada para entender a natureza do fenômeno Bubbledeck. Os estudos que utilizam método qualitativo de interpretação, geralmente são direcionados para situações complexas, e portanto, tem melhores condições de descreverem a complexidade que envolve o problema, analisar a interação de certas variáveis, compreender e classificar processos dinâmicos, contribuir no processo de mudança, em maior nível de profundidade, o entendimento das particularidades do objeto estudado (RICHARDSON, 1999, p. 80).

Assim, a pesquisa é qualitativa, porque busca por relacionadas respostas e opiniões subjetivas, quando da observação, referidas ao problema a ser analisado. A pesquisa aqui relatada constituiu, na prática, um estudo exploratório que visa além de analisar estudos já publicados sobre a vantagem do uso da laje

Bubbledeck, que quando utilizada poderia de fato diminuir os custos da obra, sem contudo, diminuir a qualidade.

### **3.5 Análise dos Resultados**

É sob os conceitos encontrados na sustentação teórica que se formulam a análise dos resultados. Os dados ali relacionados permitem visualizar de forma qualitativa os referenciais teóricos, indicando uma análise objetiva do objeto principal de estudo. Neste tipo de análise, o conteúdo indica uma interpretação qualitativa (RICHARDSON, 1999, p. 233). Uma vez estabelecida às características do problema de pesquisa, formulados os objetivos e escolhidos os documentos, o investigador obteve condições de dar uma resposta bastante precisa às perguntas por que e o que analisar.

A base da metodologia da análise de conteúdo está na pergunta como analisar ou como tratar o material. O tratamento da análise aqui proposto pretenderá observar aos critérios da objetividade, sistematização e generalização. Objetividade significando, não-ambiguidade na interpretação. Sistematização e generalização da análise dos referenciais Teóricos obtidos versus a prática na obra.

## **4 ACOMPANHAMENTO E EXECUÇÃO DA OBRA DO NOVO CENTRO ADMINISTRATIVO DO DISTRITO FEDERAL**

### **4.1 Pesquisa para implantação de lajes *BubbleDeck***

Inicialmente em 2008 na fase de desenvolvimento do projeto, foi previsto a utilização do sistema de Lajes Nervuradas que consiste no processo de montagem de formas diretamente sobre o escoramento. Porém o sistema apresentou algumas dificuldades. Na tabela 8, são apresentadas algumas vantagens e desvantagem dos dois sistemas.



Tabela 8. Laje *BubbleDeck* vs Laje Nervurada

Itens Principais	Nervurada	<i>BubbleDeck</i>
<b>Procedimento executivo</b>	<b>Processo artesanal</b>	<b>Processo industrializado (redução dos prazos de execução e custos indiretos)</b>
Técnica	Inadequado para ambientes sem forros	Acabamento aparente adequado ao projeto
	Retrabalho em correções para acabamento	Baixo índice de retrabalhos
	Economia no consumo de concreto e aço	Economia no consumo de concreto e aço
	Baixo potencial de isolamento termo-acústico	Alto potencial de isolamento termo-acústico
	Necessidade de vigas	Não existem vigas
	Vence grandes vãos	Vence vãos maiores do que a nervurada
Meio ambiente	Requer uso de madeira no assoalho	Eliminação de uso de madeira no assoalho
Mão de obra	Mão de obra capacitada disponível no mercado	Necessidade de capacitação de mão de obra especializada
	Aumento da mão de obra direta e indireta	Minimiza mão de obra direta e indireta
Disponibilidade no mercado	Disponibilidade de moldes de polipropileno no mercado	Não requer a utilização de moldes
	Diversas empresas já situadas no mercado	Abertura de novo mercado de uso da matéria prima da Braskem (transversalidade)
Histórico em obras	Solução plenamente difundida no Brasil	Sistema inédito no Brasil, porém em aplicação em diversos países da Europa (mais de 1 milhão de m <sup>2</sup> de lajes fabricadas em mais de 30 países)
Viabilidade econômica	Orçamento original	Abaixo do orçamento

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Conforme apresentado na tabela 9 e 10, sistema de lajes *BubbleDeck* traz uma enorme redução de mão de obra dentro do canteiro.

**Tabela 9. Equipes na estrutura dos prédios**

Equipes na estrutura dos prédios				
Mão de obra	<i>BubbleDeck</i>		Nervurada	
	1 Equipe	5 Equipes	1 Equipe	5 Equipes
Armador	7	35	12	60
Pedreiro	4	20	4	20
Carpinteiro	2	10	19	95
Montador	8	40	26	130
Ajudante	15	75	67	335
Encarregado de serviços	4	20	6	30
<b>Total de operários</b>	<b>40</b>	<b>200</b>	<b>134</b>	<b>670</b>

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

**Tabela 10. Equipe da fábrica**

Equipe da fábrica		
Mão de obra	<i>BubbleDeck</i>	Nervurada
Armador	6	
Pedreiro	4	
Carpinteiro	3	
Ajudante	28	
Encarregado	5	
Operador de pórtico	4	
Serralheiro	1	
Soldador	4	
<b>Total de operários</b>	<b>55</b>	<b>0</b>

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Por ser industrializado, o sistema *BubbleDeck* permite um aumento de produtividade em relação ao sistema de laje Nervurada. Uma equipe na laje *BubbleDeck* consome  $2,60\text{HH/m}^2(\text{prédio}) + 0,60\text{HH/m}^2(\text{fábrica}) = 3,20\text{HH/m}^2$ , já uma equipe na laje Nervurada consome  $8,72\text{HH/m}^2$ . O sistema estrutural *BubbleDeck* que nos estudos iniciais indicava um custo 7% maior que o sistema com laje Nervurada, com a aferição dos índices na implantação ficou 12,98% menor que no projeto básico. Nas tabelas 11 e 12 estão apresentados os custos incorridos para cada sistema.

**Tabela 11. Custos incorridos, laje Nervurada**

Nervurada				
Descrição	Unid.	Qtd. Total	Preço unit.	Preço total
Concreto usinado bombeado	m³	37.295,00	R\$ 289,80	10.808.091,00
Serviço de lançamento e acabamento do concreto	m³	37.295,00	R\$ 30,65	1.143.091,75
Aço	Kg	3.043.413,00	R\$ 4,46	13.573.621,98
Formas	m²	161.000,00	R\$ 73,35	11.809.350,00
Escoramento	m²	518.420,00	R\$ 15,80	8.191.036,00
Total			R\$ 45.525.190,73	
Valor por m²			R\$ 282,77	

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

**Tabela 12. Custos incorridos, laje *BubbleDeck***

<i>BubbleDeck</i>				
Descrição	Unid.	Qtd. Total	Preço unit.	Preço total
Fabricação do pré-moldado	m²	161.000,00	R\$ 154,43	24.863.230,00
Escoramento	m²	161.000,00	R\$ 3,63	584.430,00
Aço complementar	Kg	1.072.117,96	R\$ 2,78	2.980.487,92
Montagem, solidarizações e serviços complementares	m²	161.000,00	R\$ 69,49	11.187.890,00
Total			R\$ 39.616.037,92	
Valor por m²			R\$ 246,06	

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Com base nos estudos realizados, a metodologia construtiva que melhor se enquadrou às necessidades de projeto foi o Sistema *BubbleDeck*. Alguns problemas e soluções observados durante a fase de estudo para a implantação do sistema *BubbleDeck* no Centro Administrativo do Distrito Federal são apresentados na tabela 13.

**Tabela 13. Dificuldades na fase de estudos**

<b>Dificuldades</b>	<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Desenvolver uma esfera no Brasil para compor o sistema <i>BubbleDeck</i> .	Insumo essencial para o sistema.	Desenvolvimento de esferas em polipropileno com o apoio da Braskem.
Encontrar uma parceira que fabrique telas eletrossoldadas com espaçamentos diferentes das telas existentes no mercado, para atender ao sistema <i>BubbleDeck</i> .	As telas eletrossoldadas deveriam ter malha com espaçamentos alternados entre 10 e 15cm, o que permitiria a acomodação das esferas nos espaços menores enquanto os espaçamentos maiores garantiriam o afastamento entre elas.	Foi fechada uma parceria com a Votoração onde ela se comprometeu a desenvolver um software e adquirir um equipamento capaz de produzir as telas eletrossoldadas especiais.
Encontrar mão de obra qualificada para ser treinada no novo sistema.	Sistema novo no mercado.	Treinamento da mão de obra para o sistema.
Desenvolver traço de concreto que possibilitasse a desforma após 16h e ao mesmo tempo apresentasse um bom acabamento.	Atender a demanda da obra, limitação de espaço na fábrica e o acabamento em concreto aparente.	Após estudar os agregados da região foi desenvolvido um concreto auto adensável com alta resistência inicial.
Desenvolver sistema de escoramento mais leve e de fácil remoção para os andares superiores.	O curto prazo de execução da obra.	Foi desenvolvido sistema de escoramento em mesas voadoras com menos da metade do peso de um escoramento convencional.

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Após as soluções apresentadas na fase de estudos surgiram alguns problemas na fase de implantação do sistema, a seguir na tabela 14 são apresentadas algumas soluções para os problemas observados.

**Tabela 14. Dificuldades na fase de implantação**

<b>Problemas</b>	<b>Causas</b>	<b>Soluções</b>
Espaçadores: as extremidades dos espaçadores ficavam aparentes após concretagem.	O formato do espaçador inadequado (ponta rombuda).	Substituição do espaçador por outro com geometria adequada (pontiado).
Concreto: aparecimento de microfissuras nas pré-lajes devido à retração.	Tipo de cimento (CP V ARI – BLAINE > 6000) e cura deficiente devido à baixa umidade	Utilização de microfibras de polipropileno (600g/m <sup>3</sup> ), melhoria no processo de cura (implantação de sistema com aspersores de água) operando ininterruptamente por 24 horas.
Concreto: cura das pré-lajes deficiente	Perda rápida da água devido às condições climáticas (baixa umidade)	Melhoria no processo de cura: montagem de sistema com aspersores de água interligados, atendendo toda área de fabricação das pré-lajes. A cura úmida ocorre ininterruptamente por 24 horas.
Pré-lajes: dificuldade na montagem	Desconhecimento da metodologia adequada na montagem por parte dos profissionais envolvidos.	Treinamento da equipe na metodologia de montagem fornecida pela <i>BubbleDeck</i> e acompanhamento contínuo das equipes de topografia e qualidade.

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Na tabela 15 é apresentado o ciclo de produção de uma laje *BubbleDeck*.

**Tabela 15. Ciclo de produção**

<b>Serviços</b>	<b>Dias praticáveis</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Pilares						
Escoramento						
Linha de vida						
Montagem de placas						
Aço complementar						
Concretagem						

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

## 4.2 Processo executivo

### 4.2.1 Escoramento/cimbramento

Algumas definições para o escoramento:

- a) Cimbramento - Conjunto de elementos verticais (tubos metálicos e escoras de madeiras) destinados a suportar cargas estruturais elevadas;
- b) Escoramentos - Peças destinadas a suportar cargas horizontais, podendo ainda auxiliar na obtenção do prumo e alinhamento das fôrmas em gerais;
- c) Contraventamento - São elementos usados para travar o cimbramento para melhor desempenho sob a ação de intempéries; diminui o comprimento de flambagem dos elementos verticais dando a estes, estabilidade no plano horizontal;
- d) Barreira de New Jersey - É uma barreira de segurança, utilizada como separador de fluxo de tráfego;
- e) Mills Tour - Sistema de escoramento com torres de encaixe tubular para construções pesadas;
- f) Guarda-corpos - Fixados nas vigas luma, nas laterais da laje.
- g) Linha de vida - Cabos de aço instalados nas esperas dos pilares com auxílio de esticadores e clips.

Alguns cuidados que devem ser tomados na execução dos escoramentos:

- a) Os cimbramentos com alturas superiores a 3 metros são contraventados, garantindo estabilidade da estrutura e segurança dos operários;
- b) O cimbramento deve possuir bases e condições de estabilidade e rigidez, de forma a evitar a ocorrência de recalques na estrutura e consequentemente defeitos na peça a ser concretada;
- c) Os escoramentos devem ser fixados, acunhados contraventados e apoiados de forma a evitar deslocamentos;

- d) As peças metálicas não devem apresentar indícios de oxidações, amassados, trincas nas barras ou nos perfis, desgastes nas ligações ou ruptura na costura dos perfis;
- e) É permitido o uso de madeira e tubos metálicos;
- f) Os escoramentos devem possuir proteção contra agentes externos, por exemplo: barreiras de New Jersey.

Para início das atividades faz-se necessário o preparo do terreno (limpeza, preparação e compactação).

Os materiais possuem encaixes e ajustes adequados, não necessitando de força excessiva para montagem bastando apenas ferramentas apropriadas para evitar danos.

#### **4.2.1.1 Montagem do Escoramento/Cimbramento**

Sobre o terreno regularizado e devidamente compactado são colocadas pranchas de madeira com dimensões apropriadas, que englobem no mínimo 3 apoios, para melhor distribuição de cargas no solo.

Nota: Não é permitida a utilização de apoios de madeira individuais.

Logo acima das pranchas é montado o suporte, esta etapa é denominada primeiro anel. As peças são montadas na seguinte ordem:

1. Posicionamento das bases fixas;
2. Montagem das barras travessas;
3. Montagem das barras diagonais (contravento);
4. Montagem do poste;
5. Montagem do quadro.

Terminando a montagem do primeiro anel, é feito o nivelamento entre os postes com mangueira de nível ou similar;

Segue-se com a montagem do módulo seguinte.

A barra diagonal é montada a cada três anéis.

Nesta altura os contraventos entre as torres devem estar prontos.

A torre é montada até a cota de acabamento da peça, descontando as medidas de forma e demais peças de ajustes.

Segue-se com a montagem do forçado acima dos postes, (figura 35). Através desta peça é feito o ajuste fino da cota, para dimensões menores que 15 cm. O ajuste fino não deve ocorrer pelo ajuste existente na sapata.



**Figura 35. Montagem do forçado**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Caso seja necessário um ajuste de cota para medidas maiores que 15cm, são utilizadas as peças “Flauta”, (Figura 36), montada acima dos postes. Esse ajuste não deve ocorrer com vigamento sobre o forçado.





**Figura 36. Peça “Flauta”**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Para suportes de madeira, os ajustes de nível são feitos com cunhas de madeira e na metálica com sistemas de pinos e roscas. Logo acima do forçado, é montada a peça “U”. Esta peça tem a finalidade de apoiar o berço. Segue-se a montagem da trama (Figura 37), composta pelo berço, longarinas e barrotes.



**Figura 37. Trama montada para apoio das pré-lajes**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Após a montagem do cimbramento é feita a instalação da linha de vida fixada nas esperas dos pilares. Finalizada a instalação das linhas de vida, é feita a montagem das formas e/ou montagem e posicionamento das placas pré-lajes.

O guarda corpo deverá ser instalado após a montagem das placas *BubbleDeck* para proteção da periferia da laje, onde a mesma deverá ser revestida com a tela tapume tipo mosqueteiro e rodapé de 20 cm de largura.



**Figura 38. Cimbramento para pré-lajes concluído**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Como o cimbramento utilizado na obra do Novo Centro Administrativo do Distrito Federal é do tipo convencional (fornecedor *Mills*), são utilizados os mesmos materiais, mudando apenas sua montagem conforme a necessidade de carga da peça estrutural a ser escorada. Ver exemplo Figura 39.



**Figura 39. Escoramento do pavimento**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal

A desforma e retirada do cimbramento deverá ser efetuada conforme a seguir:

- a) Antes da retirada das peças, o laboratório deve executar os ensaios de Módulo de elasticidade (quando solicitado pelo projetista) e resistência à compressão dos corpos de prova moldados durante a concretagem da peça;
- b) Para início dos serviços consultar o setor de engenharia para solicitar os valores de parâmetros para retirada do cimbramento, caso não conste nos projetos ou documentos técnicos;
- c) A retirada do cimbramento deve obedecer ao plano preestabelecido, compatível com o esquema estrutural e deve ser executado sem vibrações ou choque na peça.

Para remoção do cimbramento, o guarda corpo da periferia da laje deverá ser mantido, sob nenhuma hipótese a proteção da periferia poderá ser removida.

Nos casos em que o guarda corpo é instalado utilizando o apoio das escoras metálicas antes de iniciar a remoção da proteção deverá ser instalada a linha de vida com utilização de cabo de aço de 8mm, sendo obrigatório o uso do cinto de segurança atracado na linha de vida.

A remoção do cimbramento é iniciada pelo afrouxamento com retirada das cunhas de madeira e no caso das metálicas, no afrouxamento dos forçados, desapertando ou afrouxando-os através da borboleta, até que seja possível retirar o vigamento.

Para a remoção de escoramento metálico, deve-se seguir a seguinte ordem:

1. Aliviar a tensão da escora metálica afrouxando a borboleta do forçado,
2. Com a escora metálica, já fora do escoramento e na posição horizontal, proceder com a retirada do pino de travamento da flauta e recolher a flauta. As peças são desmontadas pela ordem inversa da montagem.

O material resultante da remoção do cimbramento pode ser reutilizado ou removido do local, de forma a não causar acidentes e promover a limpeza da área.

As peças deverão ser armazenadas em local seco e coberto, sem contato com o solo e de fácil acesso, é importante que haja conscientização e zelo com os materiais, pois, serão devolvidos ao fornecedor ao final da obra.

Nota: Na ausência de um local coberto é aceitável cobrir os materiais com lona plástica ou similar.

#### *4.2.2 Montagem de pré-moldado (pré-laje BubbleDeck)*

Antes da montagem, deve-se verificar, se a existência de interferências com construções existentes, tanto durante a aproximação de máquinas/equipamentos com a peça, como no posicionamento do equipamento.

Verificar as condições/capacidade admissível dos acessórios de montagem e içamento de carga:

- a) Vigas de levantamento;
- b) Cabos de aço do guindaste;
- c) Cintas, cabos de aço, correntes;
- d) Manilhas, ganchos e etc.;



- e) Esticadores;
- f) Dispositivos auxiliares de montagem.

Verificar se as peças a serem lançadas necessitam de algum reparo ou tratamento. Antes do lançamento de pré-moldados (pré-lajes), convém que a topografia realize a conferência das dimensões dos vãos onde serão apoiadas as lajes. Verificar a instalação e amarração correta das linhas de vida junto às esperas dos pilares.

Na sequência de montagem das pré-lajes deve-se posicionar as placas no devido local com a grua ou guindaste (figura 40), da forma indicada no anexo IV.

As orientações quanto à movimentação das pré-lajes deverá ser realizada apenas entre os sinaleiros e operadores dos equipamentos de içamento de carga.



**Figura 40. Lançamento das pré-lajes com auxílio do guindaste**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal

Após o posicionamento da peça são verificados topograficamente suas coordenadas e prumos.

A montagem deverá ser realizada pensando-se em um mínimo de locomoção e um máximo de rendimento. Para tanto os operadores envolvidos no serviço de montagem, devem ser habilitados, evitando riscos à segurança dos

colaboradores e danos à peça. Pode-se prever um escoramento provisório das peças pré-moldadas tipo mesa voadora e fachadeiro, para auxílio no posicionamento das peças e garantia de estabilidade até que a ligação definitiva seja efetuada. Para montagem das peças a área deverá ser totalmente isolada.



**Figura 41. Posicionamento das peças sobre o cimbramento**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

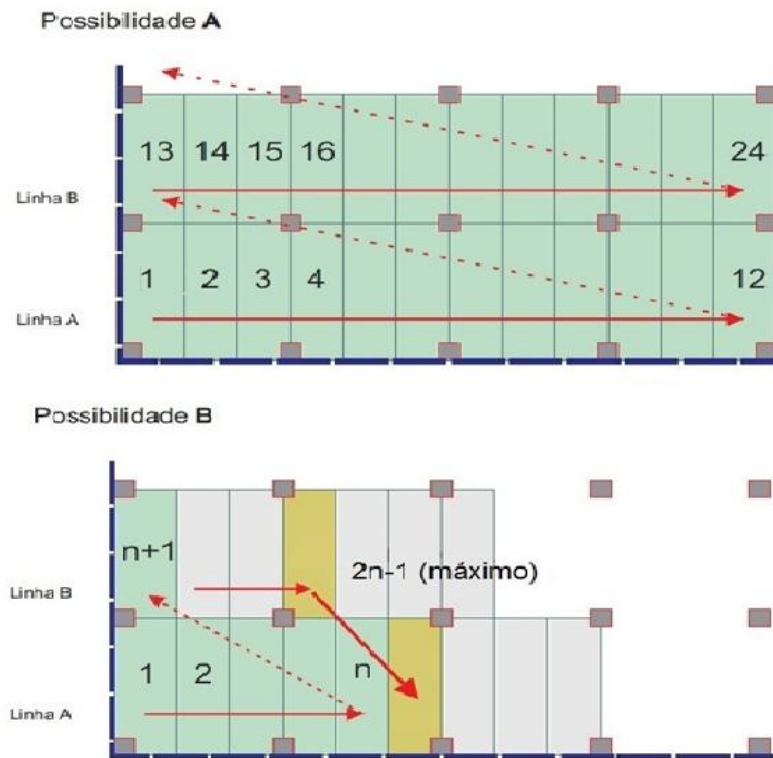
Itens a serem verificados no lançamento das lajes:

- Verificação do alinhamento das lajes;
- Verificação do nivelamento.

A figura 30 contém o esquema de montagem correto das placas onde se deve seguir com o indicado. O número de painéis da linha A deve ser sempre maior que o número de painéis da linha B, se o número de painéis na linha A estiver em N, o número de painéis da linha B deve estar em  $2N-1$  ou menor. Esta fórmula deve ser sempre seguida e nunca igualando o número de painéis da linha B com o da linha A.

As formas erradas ou exemplos de montagem que não devem ser feitas na instalação das lajes pré-moldadas estão indicadas na figura 41.

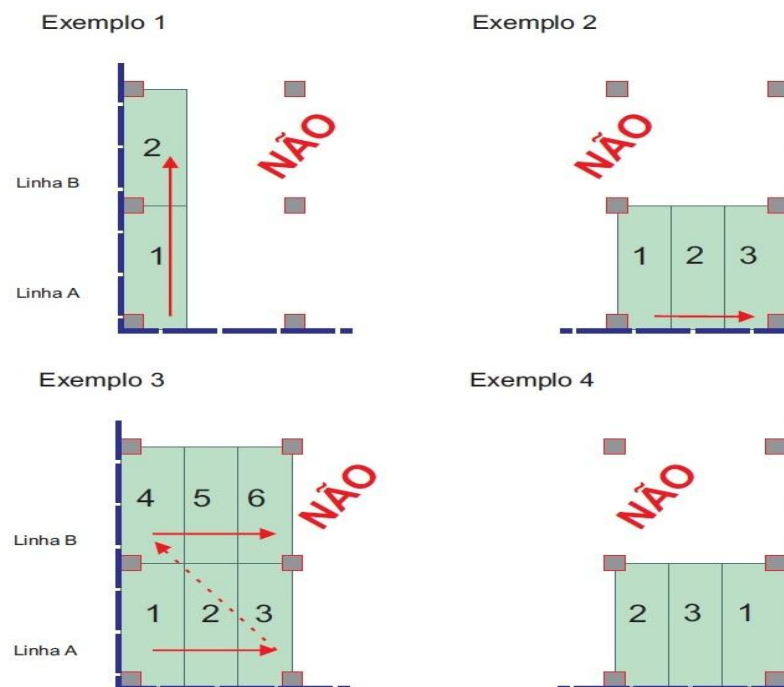
### Instalação da Pré-Laje ( Painéis )



**Figura 42. Montagem das placas**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

### Exemplo do que não deve ser feito na Instalação da Pré-Laje ( Painéis )



**Figura 43. Modo inadequado de montagem**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

#### 4.2.3 *Fabricação e montagem das formas*

Nota: Na obra só haverá fabricação de forma de madeira.

- a) Cortar e estruturar os painéis conforme o projeto;
- b) As superfícies de corte devem ser planas e lisas, sem serrilhas;
- c) Marcar os painéis com a numeração prevista no projeto em dois pontos diferentes em local visível, sempre que necessário;
- d) Furar os painéis da face interna da fôrma para a face externa, com broca de aço rápido para madeira;
- e) Estocar os painéis em área limpa, arejada e protegida da ação do sol e da chuva;
- f) Empilhar as peças na posição horizontal sobre vigotas de madeira;
- g) Separar os painéis de pilares, vigas e lajes;
- h) Observar as dimensões de projeto;
- i) Manter a central de produção constantemente limpa e organizada;
- j) Reaproveitar os painéis conforme estado das chapas em geral, verificado através de inspeção visual.

O processo de montagem das formas é feito da seguinte forma:

- a) Pilares com forma de papelão “DIMIBU”
- b) Apicoar o arranque do pilar;
- c) Limpar a área a ser trabalhada;
- d) Fazer marcação topográfica usando eixos e coordenadas;
- e) Montar o gabarito para o pilar;
- f) Colocação da armação e aterramento junto com a verificação sempre do projeto;
- g) Aplicação da forma papelão, com auxílio do guindaste ou grua como mostrado na figura 44 e 45.





**Figura 44. Colocação da forma DIMIBU**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal



**Figura 45. Colocação da forma DIMIBU com guindaste aranha**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

- a) Executar travamento na face superior e inferior da forma de papelão, usando no mínimo quatro escoras laterais a forma;
- b) Verificar o prumo e recobrimento das ferragens;
- c) Liberação para concretagem, após conferência de todos os itens;
- d) O nível final do concreto deve ser marcado pela topografia;
- e) Logo após a concretagem, reconferir os prumos das formas fazendo os ajustes se necessário.

Nota: No caso de concretagem com chuva moderada, proteger a forma com lona preta.

- a) Pilares de formas de madeira “MILLS”;
- b) Apicoar o arranque do pilar;
- c) Limpar a área a ser trabalhada;
- d) Fazer marcação topográfica usando eixos e coordenadas;
- e) Colocação da armação e aterramento junto com a verificação sempre do projeto;
- f) Realizar a limpeza dos painéis verificando a necessidade de reparos;
- g) Logo após passar desmoldante nos painéis;
- h) Após a colocação da armação em prumo, encaixar o conjunto de painéis no colarinho, conferindo o esquadro;
- i) O encaixe tem que ser perfeito evitando perda de nata de cimento;
- j) Executar todo travamento observando os espaçamentos de projeto; usar escoras metálicas para fazer o alinhamento da forma quantas forem necessárias;
- k) Verificar o prumo e recobrimento das ferragens;
- l) Liberação para concretagem será após conferência de todos os itens;



**Figura 46. Armaduras posicionadas com faces da forma e pilar travado**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

O nível final do concreto deve ser marcado pela topografia; Logo após a concretagem, reconferir os prumos da forma fazendo os ajustes se necessário.



**Figura 47. Montagem de forma de pilar com conferência de prumo**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Para o início da atividade de Desmontagem das formas de Pilar é necessário que os escoramentos de nivelamento do pilar sejam removidos. Para a remoção de escoramento metálico, deve-se seguir a seguinte ordem:

1. Aliviar a tensão da escora metálica afrouxando a borboleta do forçado;
2. Com a escora metálica, já fora do escoramento e na posição horizontal, proceder com a retirada do pino de travamento da flauta e recolher a flauta. As peças são desmontadas pela ordem inversa da montagem.

O material resultante da remoção do cimbramento pode ser reutilizado ou removido do local, de forma a não causar acidentes e promover a limpeza da área.

As peças deverão ser armazenadas em local seco e coberto, sem contato com o solo e de fácil acesso, é importante que haja conscientização e zelo com os materiais, pois, serão devolvidos ao fornecedor ao final da obra.

- a) A desforma começa pelos pilares, soltando-se as borboletas;
- b) Retiram-se os painéis, desprendendo-os com cunhas ou alavancas;
- c) Manusear as peças com cuidado para não danificar as formas;
- d) Painéis maiores e principalmente de pilares de canto devem ser preservados, amarrados com cordas para evitar eventuais choques ou quedas;
- e) Manter as reescoras das vigas

Nota: As formas de papelão são retiradas somente ao final da cura de concreto, de maneira que não danifique o pilar.

- a) Lajes.
- b) Montar torres de escoramento metálico de acordo com o projeto mantendo alinhamentos;
- c) Colocar o forçado (regulável ou fixo) apoiando os barrotes;

- d) Colocar contra barrotes perpendiculares aos barrotes, conforme projeto;
- e) Lançar a forma da laje do andar superior sobre os barrotes, de acordo com o projeto.



**Figura 48. Montagem de forma da laje**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

- a) O setor de topografia transfere o eixo da obra para o andar onde está sendo montada a forma de laje;
- b) Passar duas linhas de *nylon* unindo as cabeças dos dois pilares, faceando-as com a parte superior das laterais da forma de viga;
- c) Verificar o alinhamento das laterais;
- d) Pregar o assoalho nos sarrafos laterais das formas de vigas;
- e) Pregar o restante do assoalho nos contrabarrotes.





**Figura 49. Montagem da forma de laje finalizada**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal

- a) Nivelar os panos de laje;
  - b) Ajustar a altura das escoras de apoio da forma para nivelamento;
  - a) Conferir o nivelamento com nível de mangueira e linha de nylon pela parte superior ou inferior da forma;
  - b) Travar as laterais das vigas com parafuso ou arame nº 18;
  - c) Quando forem vigas isoladas, pregar sarrafos de travamento unindo as bordas superiores para assegurar a sua largura;
  - d) Verificar esquadro da laje através de medidas diagonais e de canto;
  - e) Passar desmoldante em toda a superfície do assoalho;
  - f) Prever as aberturas de *shafts*, elevador de carga e demais necessidades para execução da obra;
  - g) O sistema de proteção contra descargas atmosféricas deve ser executado, quando necessário.
  - h) Verificação de projeto, limpeza e recobrimento de ferragem;
  - i) Liberação para concretagem será após conferência de todos os itens.
- A desforma é executada da seguinte forma:
- a) Manter o reescoramento nas tiras do assoalho da laje;
  - b) Retirar as escoras, barrotes e contra barrotes;
  - c) Desformar os painéis da laje;

- d) Em lajes em balanço, efetuar a desforma da borda livre em direção ao apoio;
- e) Usar uma rede, cordas ou cavaletes de apoio sob a laje para evitar danos aos assoalhos;
- f) Limpar os painéis, deixando-os prontos para o próximo ciclo de produção;
- g) Empilhar os painéis para utilização posterior.

Algumas verificações:

- a) Verificação do alinhamento das formas;
- b) Verificação do nivelamento e prumo;
- c) Verificação do travamento;
- d) Verificação do acabamento superficial especificados no projeto e da limpeza final dos elementos.

#### 4.2.4 Montagem da armação

A classe, categoria e diâmetro do aço, bem como o posicionamento, quantidade de barras comprimento, dobramento e ganchos são estabelecidos em projeto. Medir com trena os pontos onde o estribo será fixado (detalhados no projeto) e marcar estes pontos com giz branco nas barras (Figura 50).



**Figura 50. Marcação com giz dos locais dos estribos**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Para posicionamento correto das barras deve ser utilizado um gabarito, amarrado nas barras com arame recozido com o auxílio da turquesa.

Para não deixar pontas de arame, cortar o material excedente da armação com o objetivo de evitar possíveis cortes ou arranhões durante as atividades.

Para garantir a integridade da peça durante o transporte até o local de fixação, sempre que for necessário, utilizar “pé de galinha”. Esta peça é fixada entre duas barras em formato de cruz. Depois de alongado, o estribo é colocado na ferragem (Figura 39), posicionado e fixado com arame recozido conforme espaçamento marcado anteriormente.



**Figura 51. Fixação dos estribos**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

Quando necessário, apicoar o local onde será realizada a peça. O material solto deve ser removido com uso de ar comprimido.

Fazer a marcação do posicionamento das ferragens complementares da armação de espera.

Posicionar a armação, na peça a ser concretada, garantindo o transpasse estabelecido em projeto.

Posicionar os estribos e demais barras necessárias para conclusão da ferragem e fazer a amarração com arame recozido.



A quantidade de pontos de amarração será executado de modo a não permitir o deslocamento das ferragens durante a concretagem.

Finalizando a armação, são colocados espaçadores na quantidade necessária para garantir o cobrimento entre a armadura e a forma.



**Figura 52. Posicionamento das armaduras complementares**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal

NOTA: As empresas que fornecem as armações já prontas deverão ser qualificadas conforme procedimento específico e as armações deverão ser conferidas antes da aplicação.

Algumas verificações necessárias:

- a) Tipo do aço, bitola e condição do material;
- b) Posicionamento: alinhamento e verticalidade;
- c) Amarração;
- d) Pastilhas / Espaçadores;
- e) Galgas.

A tolerância de cobrimento e espaçamento das armações devem seguir as especificações de projeto.

Os projetos de armação de reforço e capitéis estão nos anexos V, VI, VII e VIII.

#### 4.2.5 Concretagem de peça estrutural

Antes do início dos serviços deve ser considerado:

- a) Condições de acesso para os caminhões betoneiras;
- b) Definição do processo que será utilizado para cura e disponibilidade dos materiais que serão utilizados;
- c) Disponibilidade de vibradores adequados à peça.

##### 4.2.5.1 Recebimento do concreto

A cada chegada do caminhão betoneira, é realizado pelo Laboratório o ensaio de abatimento denominado *slump test* (Figura 53).

Nota: A descarga está condicionada a aceitação do abatimento.



**Figura 53. *Slump test***

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal

Para casos em que o *slump test* der abaixo do especificado em projeto, pode-se acrescentar água\* até o limite especificado na nota fiscal. O ensaio de

abatimento é refeito, e caso continue fora da tolerância, o concreto não pode ser descarregado e é devolvido, não sendo aceita redosagem pela usina.

Nota: \* Este traço deverá ser ajustado somente por técnico qualificado para tal serviço.

#### **4.2.5.2 Lançamento do concreto**

Após a liberação pelo laboratório, é iniciado o processo de lançamento do concreto.

Quando não especificado em plano de concretagem, o lançamento do concreto é realizado conforme as seguintes condições: O caminhão betoneira é posicionado o mais próximo possível da peça a ser concretada. No caso de concreto convencional, o mesmo pode ser transportado em carrinhos de mão ou lançado através de calha.

Nota: O intervalo de tempo entre o fim do amassamento e o início do lançamento não deve ultrapassar 2,5 horas.

As camadas são lançadas a partir da extremidade em direção ao centro da peça.

O concreto é lançado em camadas contínuas. A descarga é regulada de forma a se obter camadas adensadas de no máximo 0,45 m.

No caso de peças que excedam altura de 2,00 m, o concreto é lançado por janelas intermediárias nas laterais ou com o uso de funis e/ou mangotes.

Nota: Antes do lançamento do concreto na forma, deve-se fazer uma inspeção nas formas, verificando a presença de corpos estranhos ou qualquer interferência que possa prejudicar a qualidade da concretagem.

O concreto deve ser lançado sem grandes interrupções e, em casos de parada, verificar pontos de junta fria.

#### 4.2.5.3 Adensamento

Logo após o lançamento, o concreto é adensado com o emprego de vibradores de imersão ou de parede, quando aplicável (Figura 54).

O vibrador é inserido na posição vertical penetrando a camada lançada e ainda cerca de 15cm da camada anterior. A vibração é feita em camadas não superiores ao tamanho da agulha.



**Figura 54. Adensamento com vibradores durante a concretagem**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal

O vibrador deve ser inserido deixando “afundá-lo por si só”, ou seja, não se deve empurrar o vibrador para dentro do concreto. O vibrador deve permanecer imerso por 10 a 20 segundos, e retirado lentamente.

O vibrador não deve ser utilizado para “arrastar” o concreto, pois o movimento lateral do vibrador causa segregação.

Deve-se evitar o contato do vibrador com a ferragem, evitando-se a perda de aderência entre a barra e o concreto; em vigas, o contato do vibrador com a armadura pode deslocar o estribo.

Deve-se evitar o contato do vibrador com a forma, para que não haja o risco de danificá-la ou ainda evitar que a forma “abra”

#### 4.2.5.4 Cura do concreto

A cura do concreto é de extrema importância no processo de concretagem de peças estruturais, pois é através dela que se garante que a água de amassamento não evapore e ocasione fissuras na estrutura no concreto preservando assim a sua resistência.

A cura úmida consiste na cobertura da peça com uma manta (Bidim ou curaflex) que deve ser molhada constantemente (durante 7 dias) de forma a manter-se sempre úmida (Figura 55).



**Figura 55. Cura com Bidim realizada na laje**

Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

#### 4.2.5.5 Desforma

A desforma é realizada em tempo adequado que garanta que o concreto atingiu resistência na qual se torna auto-portante (situação em que o concreto consegue “se segurar sozinho”) esse tempo pode variar entre 18 a 21 horas após a concretagem, dependendo do traço e das condições climáticas.

Após a desforma inicia-se o processo de cura úmida das partes da peça que estavam encobertas pela forma.

#### **4.2.5.6 Junta de concretagem**

A colocação do concreto novo sobre o velho deve ser feita com os seguintes cuidados: A nata de cimento que se encontra na camada anterior, deve ser retirada com o auxílio de jato de ar ou água, até o aparecimento do agregado graúdo;

Nota: Para evitar o apicoamento do concreto, pode-se utilizar produto líquido para retardar o tempo de pega na superfície do concreto obtendo-se dessa forma uma superfície mais rugosa.

Durante 24 horas antes da concretagem da segunda camada, deve-se manter a superfície da primeira camada saturada de água.

#### **4.2.5.7 Verificação e controle**

- a) Locação, eixo e coordenadas (no início da Obra de Arte);
- b) Alinhamento, nível e prumo;
- c) Dimensões;
- d) Verificação da forma;
- e) Verificação da armadura;
- f) Verificação da concretagem;
- g) Verificação pós-concretagem.



## CONCLUSÃO

Neste trabalho pretendeu-se investigar a utilização da laje *BubbleDeck* na estrutura de uma edificação em detrimento de outras técnicas para lajes. Para tal, foi efetuado um estudo de carácter qualitativo com base em trabalhos já efetuados e fez-se o acompanhamento de uma obra, em que o projeto inicial foi alterado, sendo a laje nervurada substituída por laje *BubbleDeck*. Esta alteração tinha como principal objetivo finalizar a obra no prazo pretendido.

O estudo qualitativo permitiu confirmar as vantagens em termos ecológicos e de menor impacto ambiental que esta tecnologia permite. A redução de emissões de CO<sub>2</sub> é obtida pela redução na utilização de recursos (concreto, aço e energia dispendida na produção). Adicionalmente, há uma redução de resíduos e desperdícios principalmente quando a laje é produzida de forma industrial.

A obra do Centro administrativo do Distrito Federal, apresentou-se como um estudo de caso, não só para efetuar o acompanhamento de todas as etapas do processo, bem como para identificar as suas vantagens relativamente ao sistema de laje nervurada, que se apresentava como a técnica a usar no planeamento inicial. Dentre as principais vantagens, pode-se destacar: a) Aumento de produtividade que permitiu acabar a obra no tempo planejado; b) Redução de custos em várias etapas da construção (Permite por exemplo, a redução do dimensionamento das fundações do edifício); c) Redução de mão de obra contratada; d) redução de materiais; e) Qualidade construção; f) Facilidade e adaptabilidade construtiva; g) Tecnologia adaptou-se facilmente à norma Brasileira; H) Redução do custo dos acabamentos podendo-se optar pelo acabamento em bruto da laje para espaços comerciais ou industriais; i) Maior isolamento térmico e acústico.

Caso venha a ocorrer a sua massificação, isto é, ser adotada como a laje de referência em construções futuras, apresenta também a vantagem da produção tomar a forma industrial, permitindo adjudicação a terceiros, que serão especializados no processo, simplificando etapas, tempos de construção e possível redução do custo da laje pelo efeito de produção em larga escala.

Nos dias atuais, a tecnologia *BubbleDeck* pode ser aplicada em estruturas com laje maciça bidireccional, bem como em outros tipos de edificações

residenciais, comerciais e industriais, e já se encontra presente em cerca de 30 países estando certificada em vários deles.<sup>1</sup> As suas vantagens estão já documentadas, sendo no entanto necessário, estudos adicionais para aplicação da tecnologia em outro tipo de edificações.

O trabalho apresentou-se como uma mais valia, e uma vantagem competitiva, por permitir incorporar conhecimento aprofundado de uma técnica recente e inovadora que pode vir a ser cada vez mais utilizada no futuro.

---

<sup>1</sup> Refere-se como exemplo, Dinamarca, Alemanha, Reino Unido, Holanda.



## REFERÊNCIAS

BARRAL, Welber. **Metodologia da Pesquisa Jurídica**. 2.ed. Florianópolis: Fundação Boiteux, 2003.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de Concreto**. Disciplina 2117. Estruturas de concreto I. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Civil. Bauru - SP: Universidade Estadual Paulista - UNESP, novembro, 2013.

BOYD, J.H.W.; WESTFALLK, R. **Pesquisa Mercadológica: textos e casos**. 2.ed. Rio de Janeiro: FGV, 1971.

BUBBLEDECK BRASIL. Disponível em: <<http://www.BubbleDeckbrasil.com.br>>, Acesso em: 26.9.2013.

BUBBLEDECK INTERNACIONAL. **BubbleDeck Design Guide**. Disponível em: <<http://www.BubbleDeck-uk.com>> Acesso em: 26.9.2013.

CARVALHO, Roberto Chust; PARSEKIAN, Guilherme Aris; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de; MACIEL, Andrey Monteiro. **Estado da Arte do Cálculo das Lajes Pré-Fabricadas com Vigotas de Concreto**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos 3-4 de novembro de 2005.

CASTELO BRANCO, Antonio Frederico Vilarinho. **Contribuição para o Projeto de Lajes-Cogumelo**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Estruturas. São Carlos, 28.7.1989. Disponível em: <[http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1989ME\\_AntonioFredericoVilarinhoCasteloBranco.pdf](http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1989ME_AntonioFredericoVilarinhoCasteloBranco.pdf)> Acesso em: 2.4.2014.

CHEN, B.; LIU, J. Contribution of Hybrid Fibers on the Properties of the High-Strength Lightweight Concrete Having Good Workability. **Cement and Concrete Research**, vol. 35, nº 5, 2005.

CHEN, B.; LIU, J. Experimental Application of Mineral Admixtures in Lightweight Concrete With High Strength and Workability. **Construction and Building Materials**, vol. 22, nº 4, 2008.

DRB. **Sistema Estruturais - Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 2014. Disponível em: <<http://www.drb-assessoria.com.br/PosicaodasvigasepilaresemCA.pdf>> Acesso: 2.4.2014.

DRB Assessoria. **Lajes Cogumelo e Lajes Lisas**. Disponível em: <<http://www.drb-assessoria.com.br/6lajecogumeloelajelisa.pdf>> Acesso em: 2.4.2014.

ENGENHARIA CIVIL NA NET. **Lajes Nervuradas**. 17.8.2009. Disponível em: <<http://engenhariacivilnanet.blogspot.pt/2009/08/lajes-nervuradas.html>> Acesso em: 2.4.2014.

ENGEPROT. **Sistema de Lajes em Concreto Protendido Apresenta Inovação**. 2003. Disponível em: <<http://www.engeprot.com.br/ec.htm>> Acesso em: 2.4.2014.

FREIRE, Tâmara Carvalho. **Estudo comparativo para lajes cogumelo utilizando as tecnologias “BubbleDeck” e atex**. Projeto de graduação. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, agosto, 2009.

GADELHA, André Nóbrega et al. Categoria: Reutilização do Conhecimento. Sistema Estrutural *BubbleDeck*: Metodologia Construtiva de Lajes Pré-Moldadas Sustentável aliada à Transversabilidade. Obra: Centro Administrativo do Distrito Federal - CADF. Prêmio Destaque Odebrecht, 2012.

GAO, J.; SUN, W.; MORINO, K. Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced, High-Strength, Lightweight Concrete. **Cement & Concrete Composites**, vol. 19, nº 4, 1997.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 8.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

ISHITANI, Hideki; FRANÇA, Ricardo Leopoldo e Silva. **Concreto Protendido. Fundamentos Iniciais**. Escola Politécnica - USP. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, 2002.

IU, X.; CHIA, K. S.; ZHANG, M.-H. Water Absorption, Permeability, and Resistance to Chloride-Ion Penetration of Lightweight Aggregate Concrete. **Construction and Building Materials**, vol. 25, nº 1, 2011.

LAI, Tina. **Structural Behavior of BubbleDeck Slabs And Their Application to Lightweight Bridge Decks**. Department of Civil and Environmental Engineering. Massachusetts Institute of Technology. June 2010.

LEONHARDT, F., MONNIG, E. **Construções de Concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979. vol. 3.

LOPEZ, M.; KAHN, L. F.; KURTIS, K. E. Effect of Internally Stored Water on Creep of High-Performance Concrete. **ACI Materials Journal**, vol. 105, nº 3, 2008.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de marketing: Metodologia, planejamento**. São Paulo: Atlas, 1999.

MELLO, Ana Lucia Vargas de. **Cálculo de Lajes Lisas com Protensão Parcial e Limitada**. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. São Carlos - SP: Universidade Federal de São Carlos, 2005.

MESQUITA FILHO, Júlio. **Estudo das Lajes**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Civil. Ilha Solteira - SP: Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2004. Disponível em: < <http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Estudo%20das%20lajes.pdf> >

MONTOYA, Jimenez; MESEGUER, A. Garcia; CABRE, F. Moran. **Hormigon Armado**. 14.ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2000.

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. 31.3.2003. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABc1kAG/norma-nbr6118-2003> > Acesso em: 2.4.2014.

ODEBRECHT. As vezes não se vê, mas está lá. **Revista Odebrecht Notícias - ON**, nº 165, mar./abr., 2013. Disponível em: <<http://odebrechtnoticias.com.br/ON4/Edicoes/323/pdf/ON323pt.pdf> >

OLIVEIRA, Anderson de; GARCIA, Sérgio Luis González; CORDEIRO, Guilherme Chagas. Avaliação do desempenho estrutural em serviço de lajes treliçadas pré-moldadas de concretos com agregados leves. **Revista Ambiente Construção** Vol. 11 nº 4. Porto Alegre, Oct./Dec., 2011.

PROCALC. **Lajes Protendidas**. 2013. Disponível em: < <http://www.procalc.com.br/blog/lajes-protendidas/> > Acesso em: 2.4.2014.

REDETEC. **Lajes Lisas**. 2009. Disponível em: < <http://www.redetec.org.br/inventabrasil/emilio.htm> > Acesso em: 2.4.2014.

RICHARDSON, Roberto Jarry, e cols. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3.ed. [rev. e amp.] São Paulo: Atlas, 1999.

ROSSIGNOLO, J. A. Módulo de Deformação do Concreto Leve Estrutural de Alto Desempenho. **Revista Minerva**, São Paulo, SP, vol. 2, nº 1, 2005.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C.; MORAIS, J. A. Properties of High-Performance LWAC for Precast Structures With Brazilian Lightweight Aggregates. **Cement & Concrete Composites**, vol. 253, nº 1, 2003.

SCHMID, Manfred Theodor. **Lajes Planas Protendidas**. Rudloff Industrial Ltda. 3.ed. revisada e ampliada. [\_\_\_\_], 2009. Disponível em: < [http://www.rudloff.com.br/downloads/publicacoes-tecnicas/publicacao1\\_lajes\\_planas\\_protendidas.pdf](http://www.rudloff.com.br/downloads/publicacoes-tecnicas/publicacao1_lajes_planas_protendidas.pdf) >

SHANNAG, M. J. Characteristics of Lightweight Concrete Containing Mineral Admixtures. **Construction and Building Materials**, vol. 25, nº 2, 2011.

SILVA, Yuri Mariano de Oliveira. **Estudo comparativo entre lajes “BubbleDeck” e lajes lisas**. Projeto de graduação. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2011.

TIJOLAJE. **Lajes**. 2014. Disponível em: < [www.tijolaje.com.br](http://www.tijolaje.com.br) > Acesso em 12.4.2014.

TRIVIÑOS, Augusto N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

VASCONCELOS, Juliano. **Catálogo Digital de Detalhamento da Construção**. Universidade Feevale, 22.8.2012. Disponível em: <<http://cddcarqfeevale.wordpress.com/>> Acesso 25 de outubro de 2013.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 2004.

WIKIPEDIA. **Millennium Tower**. Disponível em:  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Millennium\\_Tower\\_\(Rotterdam\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Millennium_Tower_(Rotterdam))> Acesso em:  
25.10.2013.

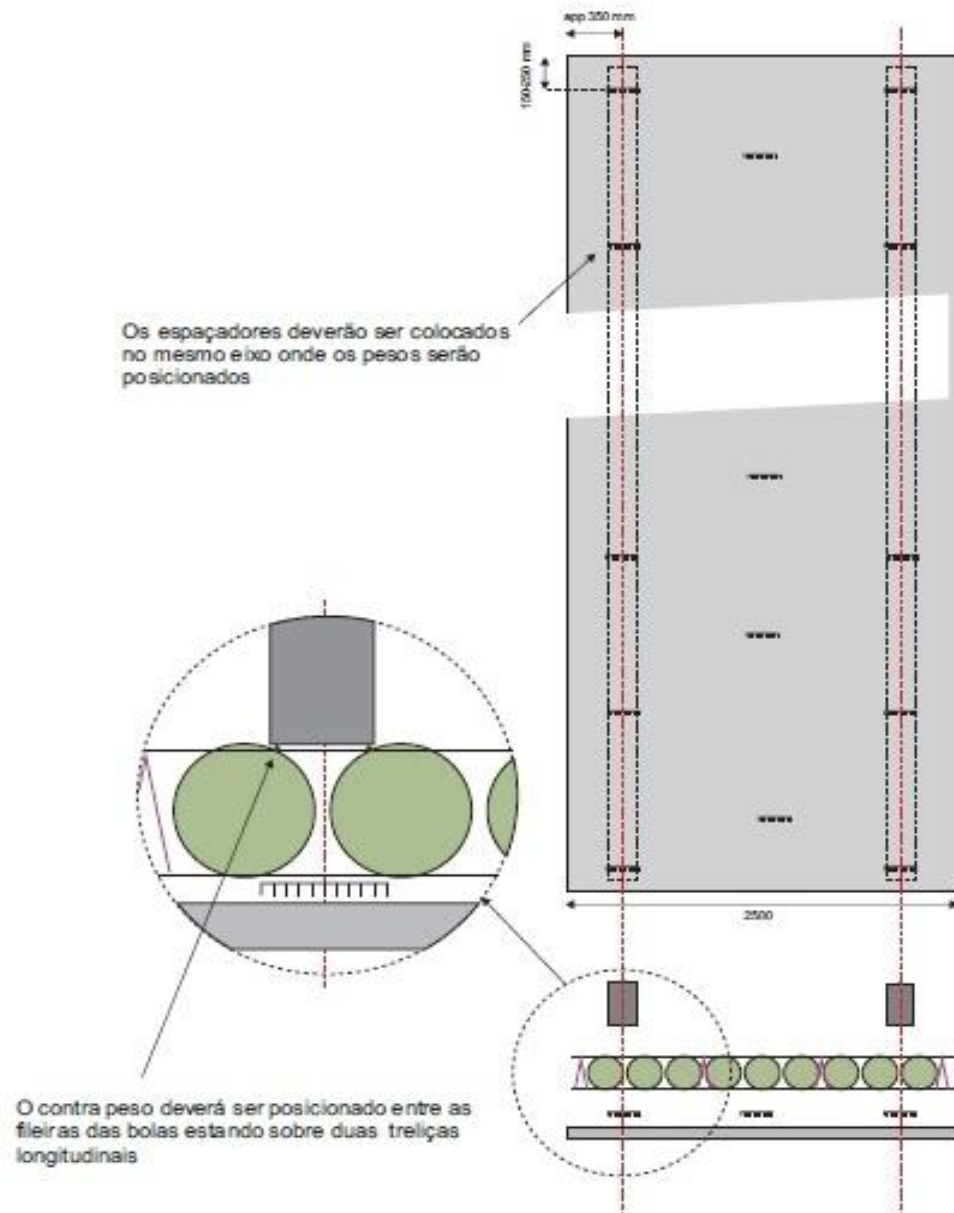
YASAR, E. *et al. Strength Properties of Lightweight Concrete Made With Basaltic Pumice and Fly Ash*. **Materials Letters**, vol. 57, n<sup>o</sup> 15, 2003.

## ANEXOS



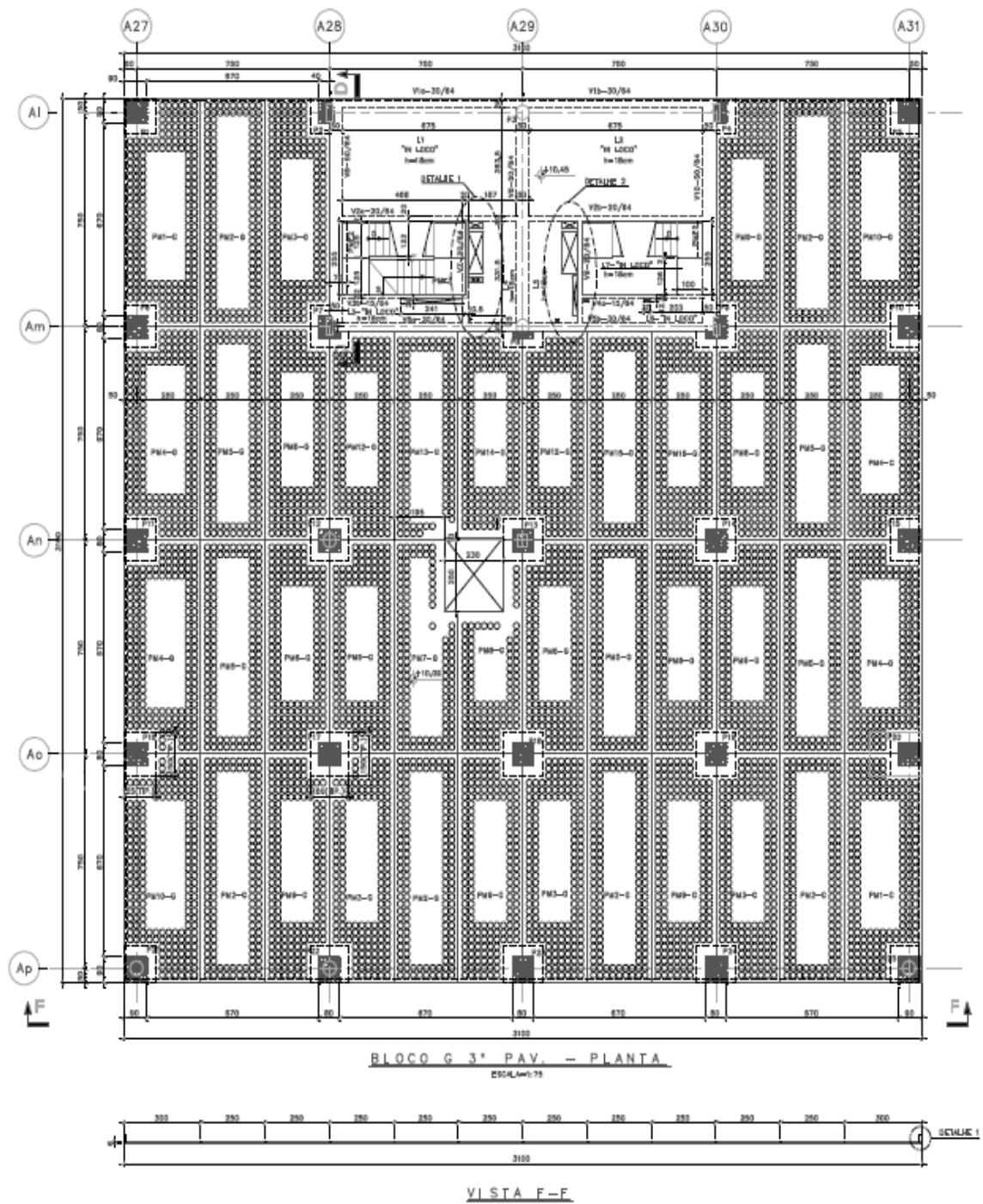
## Anexo III – Colocação de espaçadores

### Colocação de Espaçadores dos Painéis BD



Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

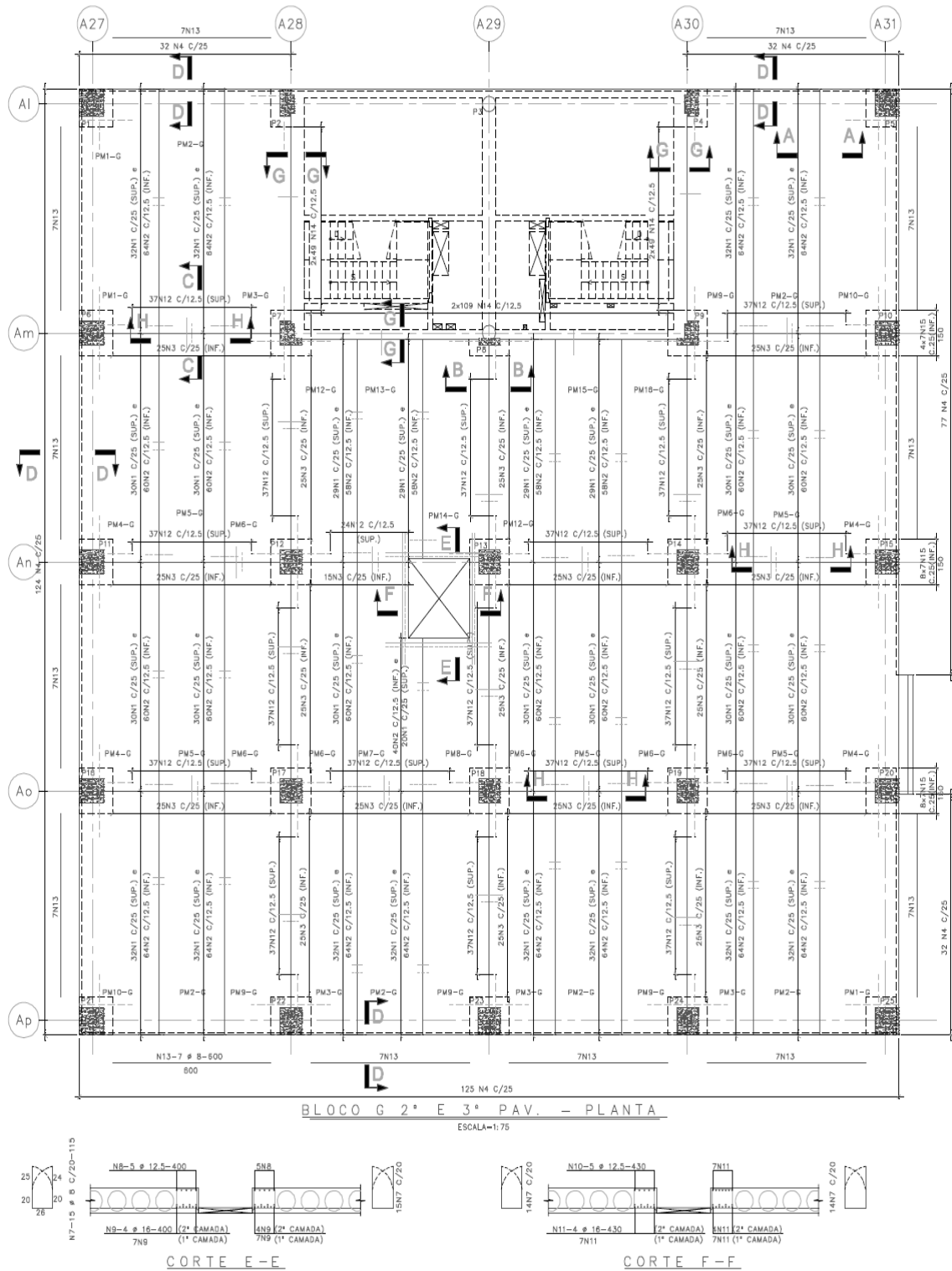
## Anexo IV – Arranjo dos pré-moldados



Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.



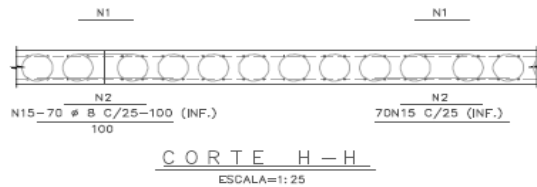
## Anexo V – Projeto de ligações e reforço



Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

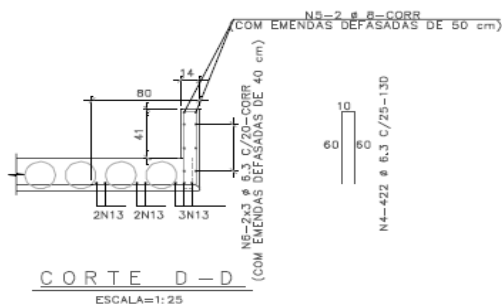
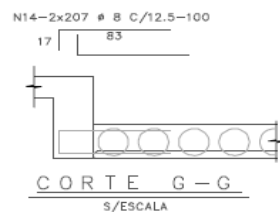
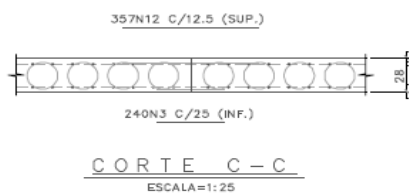
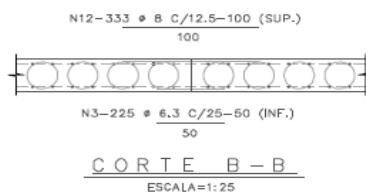
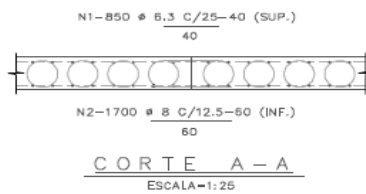
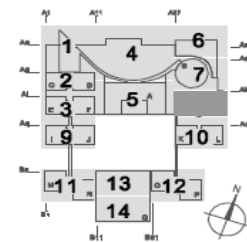
## Anexo VI – Projeto de ligações e reforço – Cortes e lista de ferros

- 1\_ DIMENSÕES EM CENTÍMETROS E ELEVAÇÕES EM METROS, EXCETO ONDE INDICADO.
- 2\_ COBRIMENTOS : COBRIMENTO GERAL = 2,5cm
- 3\_ AÇO :
- 3.1\_ PEÇAS EM CONCRETO ARMADO: CA-50
- 4\_ CONCRETO:  $f_{ck} = 30MPa$



LISTA DE FERROS PARA 1 PAVIMENTO				
N	Ø (mm)	Q	COMPRIMENTO	
			UNIT.(cm)	TOTAL(m)
1	6.3	850	40	340.00
2	8	1700	60	1020.00
3	6.3	465	50	232.50
4	6.3	422	130	548.60
5	8	2	CORRIDO	219.18
6	6.3	8	CORRIDO	652.14
7	8	58	115	66.70
8	12.5	10	400	40.00
9	16	22	400	88.00
10	12.5	5	430	21.50
11	16	29	430	124.70
12	8	690	100	690.00
13	8	91	600	546.00
14	8	414	100	414.00
15	8	140	100	140.00

RESUMO CA-50		
Ø (mm)	COMPR (m)	PESO (kg)
6.3	1773.24	434
8	3095.88	1223
12.5	61.50	59
16	212.70	336
TOTAL:		2.052
TOTAL(x2):		6.156

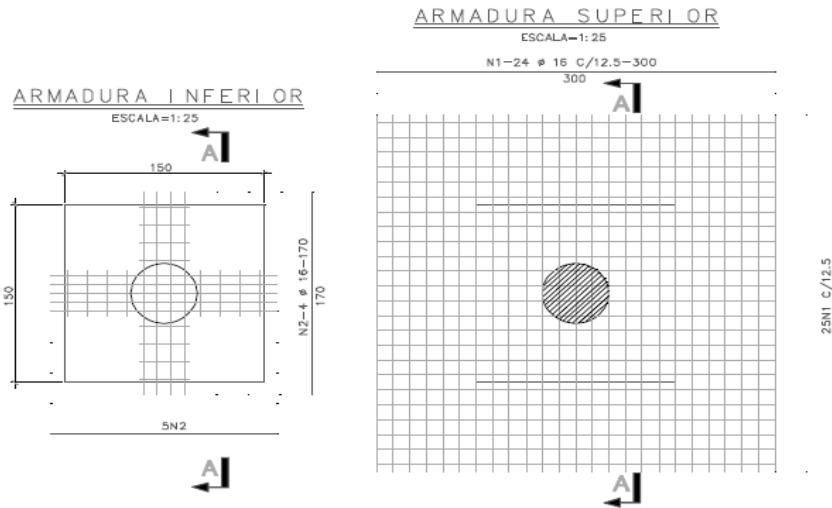


Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

## Anexo VII – Capitéis I

### ARMADURA DO CAPITEL – PILARES P12, P14, P17, P18 e P19 (x5)

ESCALA=1:25



#### CORTE A-A

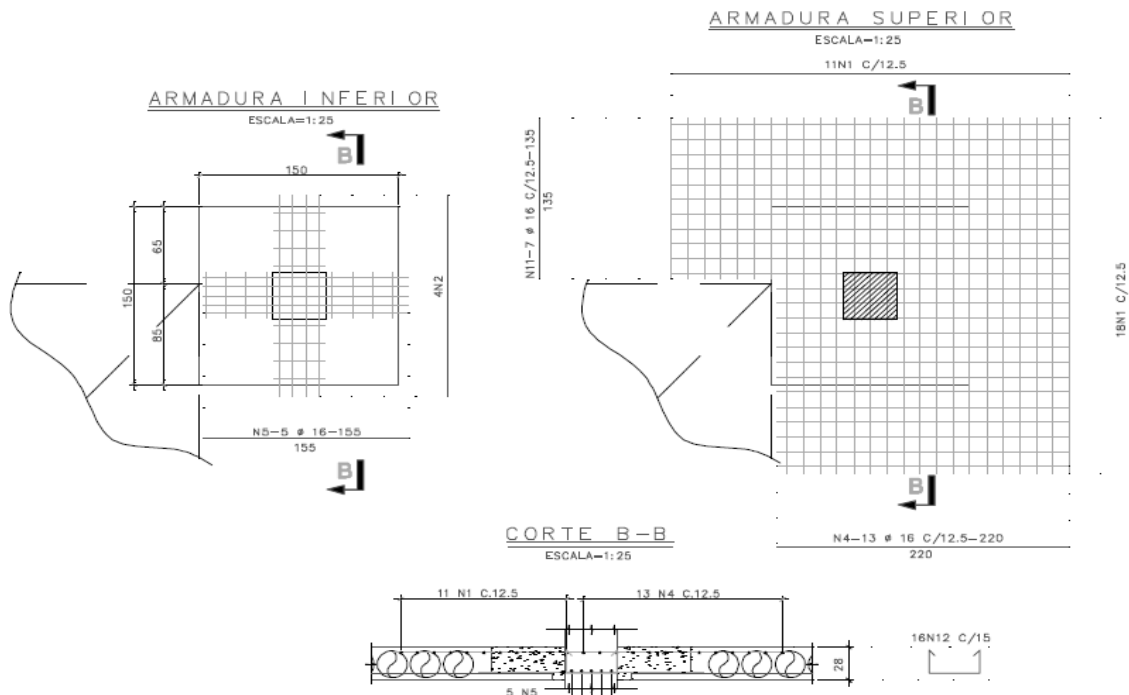
ESCALA=1:25

24 N1 C/12.5



### ARMADURA DO CAPITEL – PILAR P13 (x1)

ESCALA=1:25



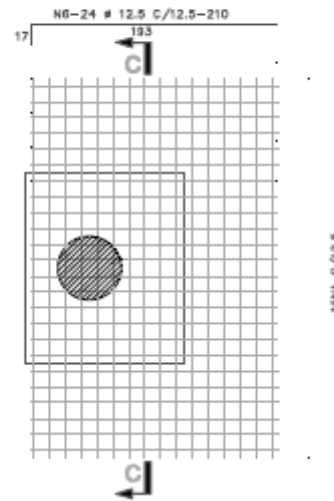
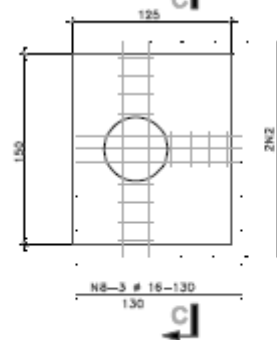
Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.

## Anexo VIII – Capitéis II

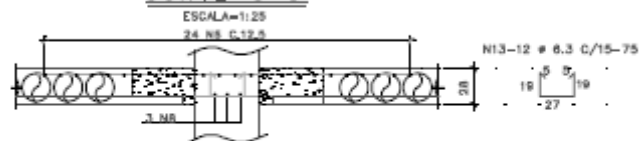
P6, P10, P11, P15, (P16 ou P20),  
P22, P23 e P24 (x8)  
ESCALA=1:25

ARMADURA SUPERIOR  
ESCALA=1:25

ARMADURA INFERIOR  
ESCALA=1:25

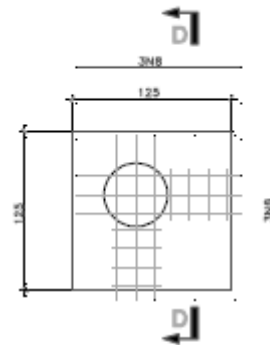


CORTE C-C

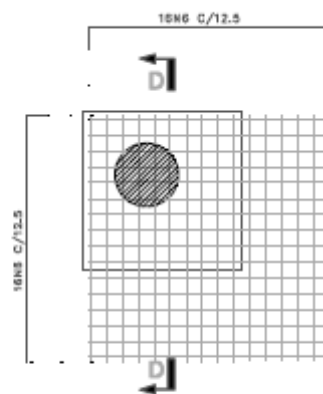


ARMADURA DO CAPITEL - PILARES  
P1, P5, P21 e P25 (x4)  
ESCALA=1:25

ARMADURA INFERIOR  
ESCALA=1:25



ARMADURA SUPERIOR  
ESCALA=1:25



CORTE D-D



Fonte: Centro Administrativo do Distrito Federal, 2014.